

NILTON RICETTI XAVIER DE NAZARENO

Implantação e Implementação do Sistema de Processamento  
de Dados Gravimétricos Desenvolvido no “Gravity Data  
Centre of Canada” para uso em Microcomputadores  
do Tipo PC.

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-  
Graduação em Ciências Geodésicas da  
Universidade Federal do Paraná como re-  
quisito à obtenção do grau de mestre.

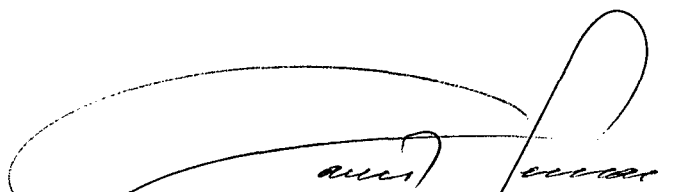
C U R I T I B A  
1 9 9 2

Implantação e Implementação do Sistema de  
Processamento de Dados Gravimétricos  
desenvolvido no "Gravity Data Centre of  
Canada" para uso em Microcomputadores do  
Tipo PC

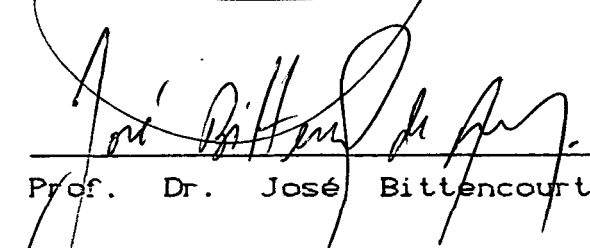
por

Nilton Ricetti Xavier de Nazareno  
Engenheiro Cartógrafo

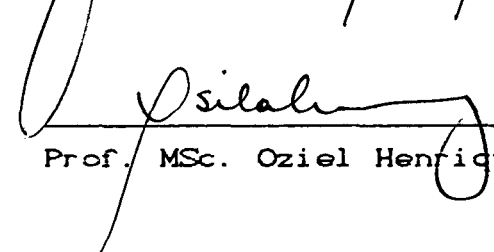
Dissertação aprovada como requisito parcial  
para obtenção do grau de Mestre no Curso  
de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
da Universidade Federal do Paraná, pela  
comissão formada pelos professores.



Prof. Dr. Camil Gamael Orientador



Prof. Dr. José Bittencourt de Andrade



Prof. MSc. Oziel Henrique da Silva Leite

Curitiba, 14 de Maio de 1992.

Dedico esse trabalho a minha  
esposa Maria Bernadete e as  
minhas filhas Luísa e Thaís.

## AGRADECIMENTOS

Desejo manifestar meus agradecimentos às pessoas e entidades abaixo relacionadas:

Ao professor Camil Gemaël por ter-me orientado neste trabalho,

Ao professor Dr. Denizar Blitzkov pela cessão dos programas fontes do SPDG.

Aos colegas e amigos Júlio Kiyoshi Hasegawa e Paulo de Oliveira Camargo pela ajuda e incentivo.

Ao Departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp de Presidente Prudente pelo suporte dado ao trabalho.

## SUMÁRIO

TÍTULO .....	i
TERMO DE APROVAÇÃO .....	ii
DEDICATÓRIA .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	iv
SUMÁRIO .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMO .....	ix
ABSTRACT .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. GEODÉSIA FÍSICA - CONCEITOS .....	04
2.1 Potencial Gravitacional .....	04
2.2 Força da Gravidade .....	06
2.3 Terra Normal .....	07
2.3.1 Fórmula Internacional da Gravidade .....	09
2.4 Anomalia da Gravidade .....	10
2.4.1 Anomalia do Ar-Livre .....	10
2.4.2 Anomalia Modificada de Bouguer .....	12
2.4.3 Anomalia Isostática .....	15
2.5. Fórmula de Stokes .....	19
2.6 Fórmula de Veining-Meinesz .....	20
2.7 Medidas Gravimétricas .....	21
2.7.1 Determinações Absolutas .....	21
2.7.1.1 Método Pendular .....	22
2.7.1.2 Método de Queda Livre .....	24
2.7.2 Determinações Relativas .....	26
2.7.2.1 Método Pendular .....	26
2.7.2.2 Gravímetros .....	27
3. GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE MAPAS DE CONTORNO .....	32
3.1 Funções Interpoladoras .....	35
3.1.1 Funções Globais .....	36
3.1.1.1 Polonomiais .....	36

3.1.1.2	Multiquadráticas .....	39
3.1.2	Funções Locais .....	41
3.1.2.1	Ponderação pelo Inverso da Distância .....	41
3.1.2.2	Krigagen .....	42
3.1.2.3	Multiquadráticas para Suportes Locais .....	46
3.1.2.4	Redes Triangulares .....	47
3.2	Determinação de Vizinhança .....	49
3.3	Contorno Automático .....	53
4	SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS .	54
4.1	Opções de Processamento .....	57
4.1.1	Criação e Modificação do Arquivo BASES.DAT ..	58
4.1.2	Criação ou Modificação do Arquivo de Instru- mentos .....	62
4.1.3	Entrada de Observações de Circuitos .....	67
4.1.4	Cálculo dos Circuitos .....	79
4.1.5	Entrada das Observações de uma Rede .....	80
4.1.6	Cálculo da Diferença de Gradidade de uma Rede	89
4.1.7	Ajustamento da Rede Gravimétrica .....	92
4.1.8	Saída de Arquivo via Impressora ou via Tela .	102
4.1.9	Cálculo da Correção de Maré .....	102
4.2	Processamento do SPDG .....	104
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS, IMPLEMENTAÇÃO E CONCLUSÃO..	106
5.1	Considerações Finais .....	106
5.2	Implementação .....	111
5.3	Conclusão .....	117
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	120

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 01 - Força da Gravidade .....	6
Fig. 02 - Anomalia da Gravidade .....	10
Fig. 03 - Correção modificada de Bouguer .....	14
Fig. 04 - Sistema isostático PRATT-HAYFORD .....	16
Fig. 05 - Sistema isostático AIRY-HEISKANEN .....	16
Fig. 06 - Fórmulas de STOKES .....	19
Fig. 07 - Pêndulo Matemático .....	22
Fig. 08 - Pêndulo Físico .....	22
Fig. 09 - Pêndulo Reversível .....	23
Fig. 10 - Método queda livre .....	24
Fig. 11 - Método das duas estações .....	25
Fig. 12 - Lei de HOOKE .....	27
Fig. 13 - Polígonos convexos e não convexos .....	34
Fig. 14 - Algoritmo de Hall .....	35
Fig. 15 - Graus diferentes de polinômio para representar a mesma área .....	38
Fig. 16 - Triangularização de Delauney .....	47
Fig. 17 - Critérios de escolha de pontos para interpola- ções locais .....	51
Fig. 18 - Menu Principal do SPDG .....	57
Fig. 19 - Criação do arquivo BASES.DAT .....	58
Fig. 20 - Menu de operação do programa MKBASE.EXE .....	59
Fig. 21 - Arquivo BASES.DAT .....	60
Fig. 22 - Fluxograma do programa MKBASE.EXE .....	61
Fig. 23 - Menu de operação do programa MKINST.EXE .....	62

Fig. 24 - Menu secundário do programa MKINST.EXE .....	65
Fig. 25 - Arquivo do instrumento G068.DAT .....	65
Fig. 26 - Fluxograma do programa MKINST.EXE .....	66
Fig. 27 - Arquivo PROJ#.SET .....	68
Fig. 28 - Menu de operação do programa TRAVRED.EXE ....	72
Fig. 29 - Arquivo de um circuito editado pelo programa TRAVRED.EXE .....	74
Fig. 30 - Circuito calculado pelo programa TRAVRED.EXE	77
Fig. 31 - Fluxograma do programa TRAVRED.EXE .....	78
Fig. 32 - Menu de operação do programa TIEPROC.EXE ....	82
Fig. 33 - Dados de entrada da estação de controle 917473 mostrados na tela pelo programa TIEPROC.EXE	84
Fig. 34 - Determinação das diferenças de gravidade entre duas estações pelo programa TIEPROC.EXE .....	85
Fig. 35 - Fluxograma do programa TIEPROC.EXE .....	88
Fig. 36 - Informações finais do programa TIEFORM.EXE ..	90
Fig. 37 - Fluxograma do programa TIEFORM.EXE .....	91
Fig. 38 - Arquivo 86116.ORG .....	99
Fig. 39 - Arquivo 86116.SPC .....	100
Fig. 40 - Fluxograma do sistema de ajustamento .....	101
Fig. 41 - Menu de operação do programa TIDES.EXE .....	103
Fig. 42 - Arquivo TIDES.LIS .....	104
Fig. 43 - Menu de operação do programa ISOLINE1.EXE .....	112
Fig. 44 - Menu de operação do programa ISOLINE.EXE .....	114
Fig. 45 - Fluxograma da implementação .....	114
Fig. 46 - Mapa gerado pela implementação .....	115
Fig. 47 - Mapa editado pelo AUTOCAD .....	116



## RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos de Geodésia Física, bem como um estudo sobre a geração automática de mapas de contorno.

Em seguida fez-se uma análise pormenorizada do Sistema de Processamento de Dados Gravimétricos (SPDG) desenvolvido Ronald J. Buck do Geological Survey of Canada com a finalidade de implementá-lo.

Para tanto dotou-se o sistema de recurso gráfico com a adaptação de um programa de traçado de curvas de contorno, de modo que após serem calculados os circuitos gravimétricos pode-se visualizar as curvas de isoanomalias na tela.

Paralelamente foi elaborado um guia para o usuário de maneira a facilitar a utilização do SPDG.

## ABSTRACT

This work presents a bibliographical review on the main concepts of Physical Geodesy, as well as a study on automatic generation of contour maps.

Following that, a detailed analysis was carried out about the Gravimetric Data Processing System developed by Ronald J. Buck from the Geological Survey of Canada, in order to implement it.

Therefore the system was linked to a graphic package for contour lines plotting, so that after calculating the gravimetric circuits the isoanomaly curves can be visualized in the screen.

Parallely, a user guide was written in order to ease the use of the system.

## 1. INTRODUÇÃO

A Geodésia pode ser encarada sob dois aspectos : Geodésia como ciência pura, cujo objetivo principal é determinar a forma e dimensões da Terra ou Geodésia como ciência de levantamento, cujo objetivo principal é estabelecer uma rede de pontos com coordenadas conhecidas, obtidas por técnicas e especificações internacionais para dar apoio à Cartografia.

Tanto sobre um aspecto, como pelo outro, o geodesta necessita obter um arcabouço de pontos sobre a superfície física com coordenadas bem definidas e fazer suas inferências. Este conjunto de pontos pode ser obtido através de operações geométricas realizadas sobre a superfície ( medidas angulares e de distância ) associadas a esparsas determinações astronômicas e a levantamentos gravimétricos ou através de medições feitas por intermédio de satélites artificiais ( NNSS ou GPS ). Assim sendo é comum subdividir-se a Geodésia em Geodésia Geométrica, Geodésia Física e Geodésia Celeste, cada uma delas voltada a estudar um aspecto particular desta ciência.

Na Geodésia Física é dada ênfase ao campo gravitacional terrestre, que uma vez conhecido detalhadamente, pode ser relacionado ao corpo que o gerou. Para chegar ao conhecimento desse campo gravitacional, o geodesta lança mão de técnicas de medição dos valores da gravidade em diversos

pontos sobre a superfície. Esses dados gravimétricos são manipulados matematicamente e relacionados a um modelo matemático denominado Terra Normal. Desse relacionamento geram-se as anomalias da gravidade que aplicadas às fórmulas de Stokes e Vening-Meinesz levam ao conhecimento da ondulação do geóide e desvio da vertical. Tais anomalias associadas a outras técnicas de observação auxiliam no estudo geológico e/ou geofísico da Terra real.

O "GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA", desenvolveu um sistema denominado Sistema de Processamento de Dados Gravimétricos (SPDG), que faz a manipulação matemática dos dados gravimétricos. Este sistema foi desenvolvido para microcomputadores do tipo IBM/PC ou compatíveis em linguagem FORTRAN77. Neste trabalho foi feito um estudo deste sistema visando a sua implementação no que tange a possibilidade de se ter uma saída dos dados sob forma gráfica com a geração automática de mapas de contorno com isoanomalias.

Para atender esse objetivo inicialmente fez-se uma revisão dos principais conceitos de Geodésia Física para verificar o potencial do SPDG. Esta revisão encontra-se no capítulo 2.

Posteriormente fez-se um estudo dos principais métodos automáticos para geração de mapas de contorno. Este estudo, encontra-se no capítulo 3.

No capítulo 4 é descrito o SPDG pormenorizadamente de forma que um usuário potencial possa se utilizar do sistema.

Finalmente no capítulo 5 é feita uma discussão sobre alguns algoritmos utilizados pelo sistema, é apresentada uma proposta de implementação e uma conclusão geral sobre o trabalho.

## 2. GEODÉSIA FÍSICA - CONCEITOS

### 2.1. Potencial Gravitacional

Potencial pode ser entendido como a capacidade de se transformar um estado em formas de energia, ou a capacidade que uma força tem de realizar trabalho. Deste modo pode-se definir Potencial Gravitacional como sendo a capacidade que a força gravitacional ( conservativa ) tem de realizar trabalho sobre qualquer partícula que esteja sob ação de seu campo gravitacional. Esse potencial é definido em Resnick <sup>/12/</sup> como sendo o trabalho realizado pela força de atração sobre a partícula, quando esta se move desde o infinito até a distância  $l$  do centro da massa atrativa, ou seja :

$$V = \int_{\infty}^l \bar{F} d\bar{l} \quad (2.1)$$

onde :  $V$  - potencial gravitacional

$F$  - Força de atração

A força de atração formulada por Newton ( 1687 ) é dada por :

$$\bar{F} = - k \frac{m_1 m_2}{l^2} \bar{l} \quad (2.2)$$

onde :  $k = 6,672 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2\text{Kg}$   
(CONSTANTE GRAVITACIONAL)

$m_1$  - massa da partícula atraída

$m_2$  - massa da partícula atrativa

No caso de se ter a massa atraída como massa unitária pode-se reescrever a equação (2.2) como :

$$\bar{F} = - k \frac{m}{l^2} \bar{l} \quad (2.3)$$

substituindo em (2.1)

$$V = \int_{\infty}^l - k \frac{m}{l^2} \bar{l} \cdot d\bar{l} \quad V = \int_{\infty}^l - k \frac{m}{l^2} l \, dl \cos 180^\circ$$

$$V = \int_{\infty}^l k \frac{m}{l^2} dl \quad V = k \left[ \frac{m}{l} \right]_{\infty}^l$$

$$V = k \frac{m}{l} \quad (2.4)$$

Esta fórmula fornece o potencial no caso em que se tem um sistema com duas partículas. Num sistema discreto de partículas a formulação (2.4) assume a seguinte forma '08/:

$$V = k \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{l_i} \quad (2.5)$$

onde :  $m_i$  - massa da i-ésima partícula atrativa.

$l_i$  - distância entre a i-ésima partícula atrativa e a partícula atraída.

No caso de um sistema contínuo de partículas '08/:

$$V = k \int_M \frac{dm}{l} \quad (2.6)$$

onde :  $M$  - massa total do corpo atrativo.

ou reescrevendo em função do volume :

$$V = k \int_V \frac{\delta}{l} dV \quad (2.7)$$

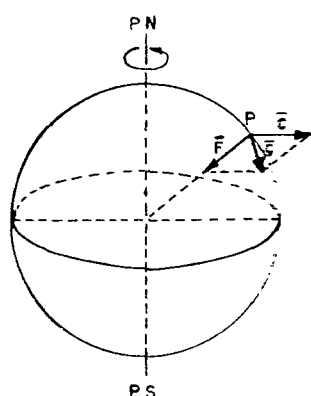
onde :  $\delta$  - densidade média do corpo atrativo.

$V$  - volume do corpo atrativo.

As equações (2.6) e (2.7) podem ser utilizadas para calcular o potencial gravitacional ou de atração para corpos sob a influência do campo gravitacional terrestre.

## 2.2. Força da Gravidade

Denomina-se força da gravidade em um ponto a resultante da força de atração das massas terrestres ( $\vec{F}$ ) e da força centrífuga ( $\vec{C}$ ) exercidas sobre a massa unitária localizada nesse ponto. A aceleração que essa força imprime à partícula de massa unitária é denominada aceleração da gravidade.



$$\vec{g} = \vec{F} + \vec{C} \quad (2.8)$$

onde :  $\vec{F}$  - força de atração

$\vec{C}$  - força centrífuga

$\vec{g}$  - força da gravidade

FIG. 1 - FORÇA DA GRAVIDADE

A força de atração é dada pela equação (2.3) e a



força centrífuga é função da velocidade angular da Terra e da distância do ponto ao eixo de rotação, ou seja :

$$\bar{c} = \omega^2 \bar{d} \quad (2.9)$$

onde :  $\omega = 7.292.115,1467 \times 10^{-11}$  rad/s ( SGR-1967)

Nos pólos a força centrífuga é nula e no equador máxima. Esse valor máximo representa aproximadamente 0,35% da força de atração /06/.

Em função de se trabalhar com conceito de massa unitária os vetores força e aceleração da gravidade tem a intensidade expressa pelo mesmo número, porém com suas respectivas unidades. Assim sendo, neste trabalho toda a vez que for utilizada a expressão gravidade ou usada a letra  $g$  deve-se entender aceleração da gravidade.

### 2.3. Terra Normal

Define-se como Terra Normal ao elipsóide de revolução ao qual se atribui a mesma massa, incluindo a massa atmosférica e a mesma velocidade de rotação da Terra real, e com a injunção de que a sua superfície tenha potencial constante.

O potencial gravimétrico gerado pela Terra Normal, denominado esferopotencial (  $U$  ), é dado por :

$$U = Z + Q \quad (2.10)$$

onde :  $Z$  - esferopotencial de atração.

$Q$  - esferopotencial de rotação.

e a gravidade normal é dada por :

$$\bar{\gamma} = \text{grad } U \quad \text{ou} \quad \bar{\gamma} = \frac{\delta U}{\delta x} \bar{i} + \frac{\delta U}{\delta y} \bar{j} + \frac{\delta U}{\delta z} \bar{k} \quad (2.11)$$

As superfícies equipotenciais geradas por esse modelo são superfícies elipsóidicas concêntricas e o valor da gravidade normal ( $\gamma$ ), para qualquer ponto, pode ser calculado pelo Teorema de Clairaut (1.<sup>o</sup> ordem).

$$\gamma_{\varphi} = \gamma_{\circ} (1 + \beta \sin^2 \varphi) \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{5}{2} m - \alpha$$

$$m = \frac{a \omega^2}{\gamma_{\circ}}$$

onde :  $\gamma_{\circ}$  - gravidade normal no equador

$m$  - relação entre a força centrífuga no equador e a gravidade normal equatorial

$a$  - semi-eixo maior do modelo elipsóidico

$\omega$  - velocidade angular de rotação da Terra

$\varphi$  - latitude geodésica do ponto onde se quer calcular a gravidade normal

$\gamma_{\varphi}$  - gravidade normal no ponto de latitude  $\varphi$

### 2.3.1. Fórmula Internacional da Gravidade

A formulação (2.12) tem origem em um desenvolvimento em série e pode ser escritas com mais termos.

$$\gamma_{\varphi} = \gamma_{\phi} (1 + \beta \sin^2 \varphi + \beta_1 \sin^2 2\varphi \dots) \quad (2.13)$$

Durante alguns anos, vários autores propuseram valores numéricos para os parâmetros da fórmula (2.13). Em 1930 na Assembléia Geral da UGGI resolveu-se padronizar os valores numéricos no âmbito internacional, gerando a fórmula Internacional da Gravidade 1930. Em 1967 a UGGI recomendou a mudança daqueles valores numéricos para os do Sistema Geodésico Referência 1967, gerando a Fórmula Internacional da Gravidade 1967.

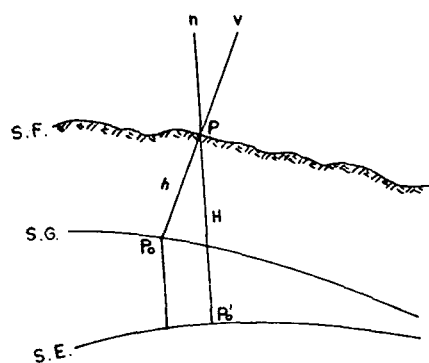
$$\gamma_{\varphi}^{67} = 978031,8 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi) \quad (2.14)$$

Em Vanicek<sup>14</sup> encontra-se uma outra formulação mais precisa que a (2.14), em função de não usar seno de arco duplo, mas sim, seno a quarta.

$$\gamma_{\varphi}^{67} = 978031,846 (1 + 0,005278895 \sin^2 \varphi + 0,000023462 \sin^4 \varphi) \quad (2.15)$$

## 2.4. Anomalia da Gravidade

Define-se como anomalia da gravidade ao escalar obtido pela diferença entre a intensidade do vetor gravidade medido na superfície e reduzido ao geóide e o vetor gravidade normal calculado para o mesmo ponto, ou seja :



$$\Delta g = g_{P_0} - \gamma_{P'_0} \quad (2.16)$$

onde :  $g_{P_0}$  - intensidade do vetor gravidade reduzido ao geóide  
 $\gamma_{P'_0}$  - intensidade do vetor gravidade normal no ponto  $P'_0$

FIG. 2 - ANOMALIA DA GRAVIDADE

Sendo o valor da gravidade medido na superfície e reduzido ao geóide, para o cálculo da anomalia, dependendo da redução feita, tem-se um tipo de anomalia.

### 2.4.1. Anomalia do AR-LIVRE

A redução do ar-livre, também conhecida como redução de Faye ou free-air, reduz o valor de  $g$  ao geóide, considerando que existe apenas uma massa de ar entre  $P$  e  $P_0$ . Deste modo a redução é feita em função do gradiente vertical da gravidade, ou seja :

$$g_{p_0} = g_p + \frac{\delta g}{\delta h} h \quad (2.17)$$

onde :  $g_p$  - valor da gravidade em P ( superfície )

$\frac{\delta g}{\delta h}$  - gradiente vertical da gravidade

$h$  - altitude de P ( altitude ortométrica )

$g_{p_0}$  - valor da gravidade reduzido ao geóide

Dependendo da precisão do trabalho, pode-se utilizar um valor médio para o gradiente <sup>106/</sup>:

$$\frac{\delta g}{\delta h} = 0,3086 \text{ mGal/m}$$

ou uma formulação mais elaborada :

$$\frac{\delta g}{\delta h} = \frac{2\gamma_p}{a} ( 1 + \alpha - 2\alpha \sin^2 \varphi + m ) \quad (2.18)$$

Finalmente pode-se escrever a anomalia de Faye como :

$$\Delta g_F = g_p + \frac{\delta g}{\delta h} h - \gamma_{p_0} \quad (2.19)$$

ou comumente :

$$\Delta g_F = g_P + 0,3086h - \gamma_{P_0}, \quad (2.20)$$

#### 2.4.2. Anomalia Modificada de Bouguer

Na anomalia de Bouguer o valor de  $g$  é reduzido ao geóide considerando o efeito das massas existentes entre  $P$  e  $P_0$ .

Na redução de Bouguer, em primeira aproximação, é substituído o efeito das massas pelo efeito de um platô horizontal de área infinita, espessura  $h$  e densidade  $\rho$  [06].

$$g_{P_0} = g_P + \frac{\delta g}{\delta h} h - 2\pi k \rho h \quad (2.21)$$

Segundo Pick et alii [12], esta consideração é válida para aplicações geofísicas, onde é suficiente substituir a massa real pela massa de um platô. Em gravimetria, no entanto é necessário a substituição do efeito real, pelo efeito de uma camada esférica que se estende sobre toda a superfície, ou seja, do ponto  $P$  até o seu antípoda.

$$\sigma_{p_0} = \sigma_p + \frac{\delta \sigma}{\delta h} h - 4\pi k \rho h \left[ 1 - \frac{h}{R} + \frac{4}{3} + \left( \frac{h}{R} \right)^2 \dots \right] \quad (2.22)$$

onde : R - raio médio de curvatura

$\rho$  - densidade média da camada esférica

h - espessura da camada esférica

Bullard estudou o efeito de um segmento da camada esférica limitado por um cone com raio esférico  $\theta = 1^\circ 29'58''$ , que conhece com o raio externo da última zona literal de Hayford, formando assim uma "calota" esférica. Essa consideração modifica a redução, por desconsiderar as massas que estão fora das zonas literais. Tais massas são consideradas na redução topo-isostática.

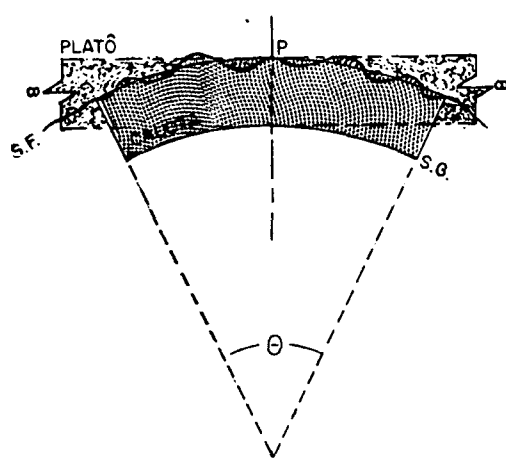
O efeito dessa calota é aproximadamente igual ao efeito do platô. A diferença entre os valores do platô e da calota esférica é conhecido como termo de Bullard ( B ) :

$$B = C_0 - 2\pi k \rho h \quad (2.23)$$

Em Gomael<sup>06/</sup> existe um quadro (Tab 7.3.1) que fornece os valores de B para altitudes variando de 100 m a 2.000 m e com densidade  $\rho = 2.670 \text{ kg/m}^3$ .

Segundo Pick et alii<sup>12/</sup>, é necessário ainda, considerar o efeito das massas topográficas que estão acima ou

abaixo da superfície esférica que contém P, então :



$$C = k \iiint \frac{\cos(n,r)}{r^2} \rho d\tau \quad (2.24)$$

onde :  $\tau$  - volume das massas

$n$  - direção da normal externa a superfície equipotencial do ponto P.

$r$  - distância do volume elementar  $d\tau$  ao ponto P

$C$  - correção de terreno

FIG. 3 - CORREÇÃO MODIFICADA DE BOUGUER

Esse efeito é negligenciável a partir dos 1.000 km de raio do ponto P. Em Gemael <sup>1966</sup> é demonstrado um processo gráfico para o cálculo do valor da correção de terreno (equação 2.24).

Finalmente a anomalia Modificadade Bouguer é escrita como :

$$\Delta g_B = g_P + \frac{\delta g}{\delta h} h - 2\pi k \rho h - B + C - \gamma_{P_0} \quad (2.25)$$

substituindo valores numéricos na equação (2.25) :

$$\rho = 2.670 \text{ Kg/m}^3 \quad e \quad \frac{\delta g}{\delta h} = 0,3086 \text{ mgal/m}$$

$$\Delta g_B = g_P - 0,1973h - B + C - \gamma_{P_0} \quad (2.26)$$



### 2.4.3. Anomalia Isostática

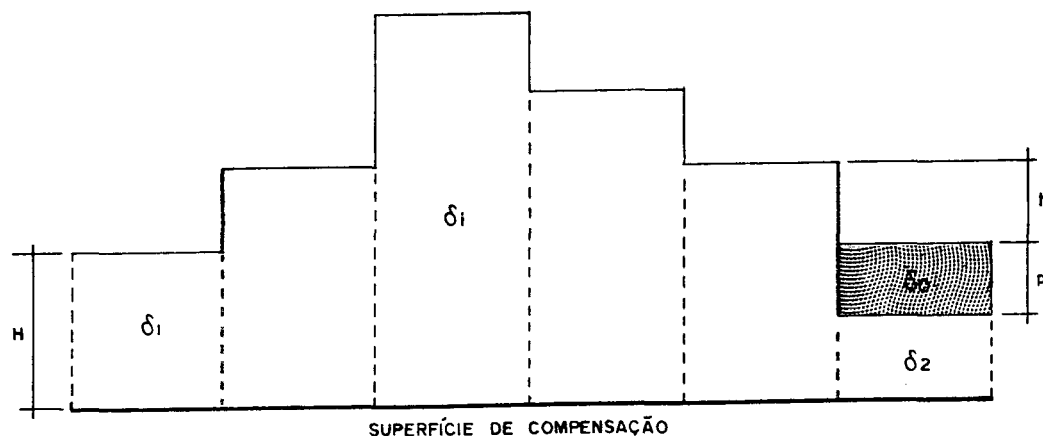
*" A isostasia postula a existência de um estado de equilíbrio na litosfera sob o efeito das ações decorrentes da gravidade. Aos excessos ( montanhas ) e às deficiências ( oceanos ) de massa em relação ao geóide correspondem massas internas de compensação . /06/*

Deste modo na redução isostática é levado em conta o efeito produzido pelas massas de compensação e pelas massas topográficas. Porém, as massas topográficas só são consideradas a partir da calota de Bouguer até o ponto antípoda ao ponto P, uma vez que já foram consideradas na correção de Bouguer.

Existem os sistemas locais e o sistema regional para o cálculo da correção isostática. Os sistemas locais consideram que as massas de compensação se encontram diretamente sob as correspondentes massas topográficas. O sistema regional analisa a questão admitindo que as massas de compensação se estendem horizontalmente por uma área superior aquela ocupada pelas massas topográficas que a geraram.

Os sistemas locais são :

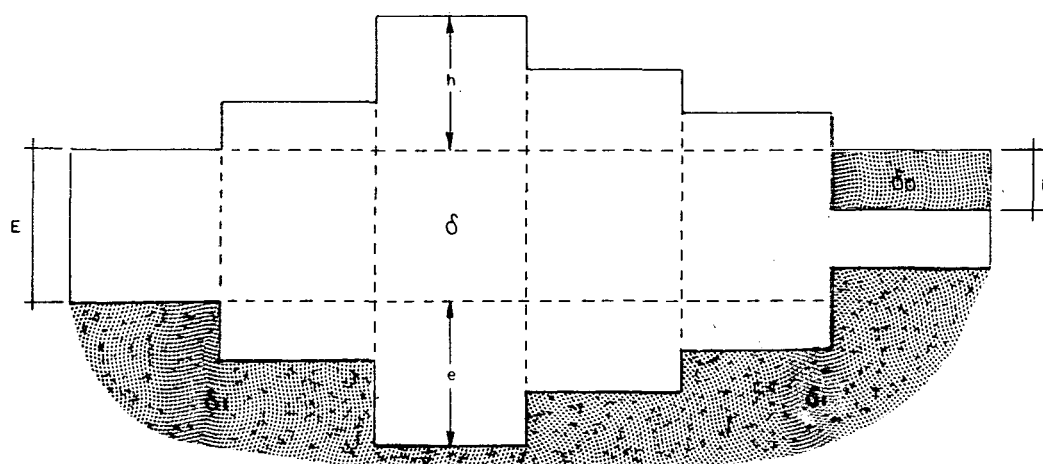
Sistema de Pratt-Hayford - postula a igualdade entre as massas topográficas e as massas de compensação, que se estenderiam do geóide até uma profundidade dita de compensação. O equilíbrio isostático seria atingido pela variação da densidade da litosfera com a profundidade.



H - profundidade de compensação  
 $\delta_i$  - densidade de um bloco prismático i

FIG. 4 - SISTEMA ISOSTÁTICO PRATT-HAYFORD

Sistema Airy-Heiskanen - postula a igualdade entre as massas topográficas e as de compensação porém não havendo variação de densidade. O equilíbrio seria alcançado com a variação de volume ou seja, quanto mais pronunciada a massa topográfica tanto maior seria a profundidade ("raízes") que atingiriam as massas de compensação.



E - espessura "normal" da litosfera.

e - espessura da "raiz".

FIG. 5 - SISTEMA ISOSTÁTICO AIRY-HEISKANEN

Nestes dois sistemas a correção para a redução isostática pode ser subdividida em duas parcelas.

$$C_I = C_{IL} + C_{TIN} \quad (2.27)$$

onde :  $C_I$  - correção isostática

$C_{IL}$  - parcela devida às massas de compensação das zonas literais de Hayford.

$C_{TIN}$  - parcela devida às massa de compensação e massas topográficas das zonas numeradas de Hayford.

Em Gemael<sup>'06/</sup> é demonstrado uma maneira prática de se obter as correções isostáticas para ambos os sistemas.

O sistema regional de Veining-Meinesz admite um espalhamento horizontal das massas de compensação sob as massas topográficas como já comentado acima. Pode-se entender esse fato ao se imaginar uma carga colocada sobre uma superfície que com o peso acaba fletindo. Veining-Meinesz estabeleceu valores médios para a espessura e características elásticas da crosta e admitiu ainda, que as massas de compensação se estenderiam até uma distância R da estação (Raio de Regionalidade) com a densidade de compensação variando de um valor máximo, na vertical da estação, até anular-se a distância R. Com essas considerações estabeleceu as curvas de deflexão para a crosta terrestre. Em 1941, publicou "Tables for regional and local isostatic reduction, Airy System" onde tabelas facilitam o cálculo das anomalias

isostáticas regionais para várias espessuras de crosta com vários raios de regionalidade.

A redução isostática é um artifício matemático que acaba por criar uma Terra fictícia e deste modo, ao ser aplicada, gera uma superfície equipotencial denominada co-geóide. Então, dependendo do modelo isostático adotado ter-se-á um co-geóide particular. É necessário portanto reduzir o valor de  $g$  do geóide para o co-geóide. Isso é feito levando-se em conta o efeito indireto ou efeito Bowie:

$$C_{EI} = \frac{\delta g}{\delta n} n = \frac{2g}{a} n \quad (2.28)$$

onde :  $\frac{\delta g}{\delta n}$  - gradiente da gravidade,  
 $n$  - distância geóide co-geóide.

da equação de Bruns :

$$n = \frac{\Delta V}{g} \quad \therefore \quad C_{EI} = \frac{2 \cdot \Delta V}{a} \quad (2.29)$$

onde :  $\Delta V$  - variação do potencial em decorrência da transferência das massas.

Finalmente a anomalia isostática pode ser escrita como :

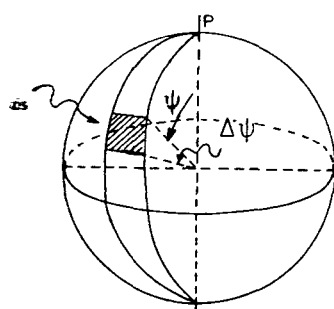
$$\Delta g_I = g_P - 0,1973 h - B + C + C_{IL} + C_{TIN} + C_{EI}' - \gamma_{P_0} \quad (2.30)$$

## 2.5. Fórmula de Stokes

A fórmula de Stokes proporciona a separação geóide elipsóide ( N ) em função das anomalias da gravidade. (ver FIG. 2 )

O grande problema na aplicação dessa fórmula, residia no fato de ser necessário o conhecimento do campo gravitacional sobre toda a superfície terrestre e aproximadamente 75% dessa superfície ser composta por oceanos. Com o dispositivo tripendular de Veining-Meinesz ( gravímetro oceânico ), que permite a determinação gravimétrica nos oceanos e o aparecimento dos gravímetros que agilizaram as determinações em terra firme, esse problema foi contornado.

Embora ainda não se tenha total conhecimento do campo gravitacional, principalmente nas áreas oceânicas, é possível a utilização da fórmula de Stokes que é dada por :



$$N = \frac{1}{4\pi Rk} \int_S S(\psi) \Delta g_s ds \quad (2.31)$$

onde :  $\Delta g$  - anomalia da gravidade elemento de área ds

FIG 6 -FÓRMULA DE STOKES

A função  $S(\psi)$  é calculada por :

$$S(\psi) = \operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} + 1 - 6 \operatorname{sen} \frac{\psi}{2} - 5 \cos \psi - 3 \cos \psi \ln \left[ \operatorname{sen} \frac{\psi}{2} \left( 1 + \operatorname{sen} \frac{\psi}{2} \right) \right] \quad (2.32)$$

A integral de Stokes pressupõe a inexistência de massas externas ao geóide. Isso é feito com a aplicação das reduções gravimétricas. Todavia, as reduções isostáticas criam uma Terra Fictícia e por conseguinte, com a aplicação da fórmula de Stokes obtém-se a separação elipsóide co-geóide ( $N'$ ). Por essa razão é necessário calcular-se a separação geóide co-geóide ( $n$ ) e adicioná-la a  $N'$ :

$$N = N' + n \quad (2.33)$$

## 2.6. Fórmulas de Veining-Meinesz

As fórmulas de Veining-Meinesz fornecem o valor das componentes 1<sup>o</sup> vertical e meridiana do desvio da vertical em função das anomalias da gravidade. Ao contrário do método astro-geodésico de determinação, essa fórmula não está vinculada as coordenadas do Datum e sim à superfície de referência usada para o cálculo da gravidade normal ( $\gamma$ ).

As fórmulas de Veining-Meinesz são dadas por :

$$\xi''_{\eta''} = \frac{\rho''}{2\pi k} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \Delta g f(\psi) \operatorname{sen} \psi \, d\psi \frac{\cos A}{\operatorname{sen} A} \, dA \quad (2.34)$$

com

$$\begin{aligned}
 f'(\psi) \operatorname{sen} \psi = & 0,5 \left[ -\operatorname{cosec} \frac{\psi}{2} - 3 - 8 \operatorname{sen} \frac{\psi}{2} + \right. \\
 & + 32 \operatorname{sen}^2 \frac{\psi}{2} - 12 \operatorname{sen}^3 \frac{\psi}{2} - 32 \operatorname{sen}^4 \frac{\psi}{2} + \\
 & \left. + 3 \operatorname{sen}^2 \psi \ln \left( \operatorname{sen} \frac{\psi}{2} + \operatorname{sen}^2 \frac{\psi}{2} \right) \right]
 \end{aligned}
 \tag{2.35}$$

## 2.7. Medidas Gravimétricas

Define-se gravimetria como sendo o conjunto de técnicas e operações que tem por finalidade a medida da gravidade em qualquer ponto que esteja sob a influência do campo gravitacional terrestre.

O valor da gravidade é observado e avaliado de forma indireta mediante a observação de outras grandezas como tempo, período, velocidade, deformações elásticas, onde  $g$  é relacionável com o sistema físico em estudo. A equação relacional pode ter origem num sistema estático ou num sistema dinâmico e o valor da gravidade pode ser determinado de forma absoluta ou relativa.

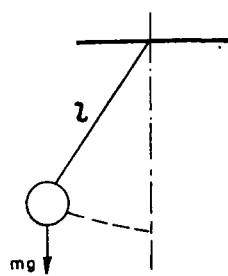
### 2.7.1. Determinações Absolutas

São determinações em um ponto de forma independente do conhecimento de  $g$  em outro ponto qualquer. A determinação

absoluta é feita por métodos pendulares ou de queda livre.

### 2.7.1.1. Método Pendular

A equação do pêndulo matemático é dada por :



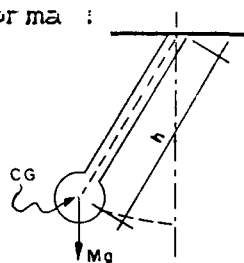
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left[ 1 + \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \dots \right. \\ \left. \dots + \left( \frac{1}{2} \frac{3}{4} \dots \frac{2n-1}{2n} \right)^n \sin^{2n} \frac{\alpha}{2} \dots \right]$$

FIG. 7 - PÊNDULO  
MATEMÁTICO

(2.36)

onde : T - período do pêndulo  
l - comprimento do pêndulo  
 $\alpha$  - elongação máxima.

Na equação (2.36) é considerado que a haste do pêndulo é indeformável e não possui massa. No caso do pêndulo físico a equação (2.36) na forma simplificada toma a seguinte forma :



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh}} \quad (2.37)$$

FIG. 8 - PÊNDULO FÍSICO

onde : I - momento de inércia do corpo relativamente ao eixo de rotação.

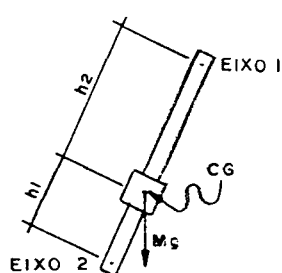
M - massa do corpo.

h - distância do eixo oscilação ao centro de gravidade ( CG ).



O grande inconveniente do pêndulo físico é a determinação de  $h$  já que a determinação do CG é difícil.

A solução foi encontrada por Kater em 1818 com a utilização do pêndulo reversível. Tal pêndulo pode oscilar suspenso pelas duas extremidades alternadamente e possui um peso móvel de modo a igualar os períodos em ambas as posições. Em Gemael (1985) é demonstrado que no caso do pêndulo reversível, desde que o período de oscilação pelas extremidades seja o mesmo :



$$l = h_1 + h_2 \quad (2.38)$$

FIG. 9 - PÊNDULO REVERSÍVEL.

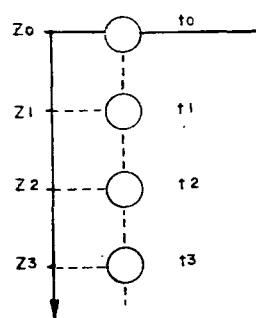
Não há então a necessidade do conhecimento da localização do centro de gravidade do pêndulo, bastando no caso, medir-se a distância entre os dois eixos de oscilação com precisão e aplicar a fórmula do pêndulo matemático (2.36).

É demonstrado em Gemael<sup>04/</sup> que para se obter o valor da gravidade com 1 mGal de precisão é necessário a determinação da distância entre os eixos com precisão na ordem de  $10^{-6}$  m e o período com precisão de  $0,5 \times 10^{-6}$  do segundo. Para se obter tal precisão no período, como o movimento pendular é isócrono, basta colocá-lo para oscilar e cronometrar  $n$  oscilações ao invés de uma. Em seguida divide-se

o intervalo cronometrado por  $n$ , obtendo-se o período. Esse procedimento torna a determinação do período  $n$  vezes melhor. No caso de um pêndulo com comprimento de 25 cm, período de 1 segundo e que oscile por 5 horas implica em medir-se o seu comprimento ao nível de  $0,25 \mu\text{m}$  e o intervalo de 5 horas ao nível de 0,01 segundos. O método pendular, em função dos problemas operacionais e com o surgimento dos gravímetros absolutos, tornou-se obsoleto.

### 2.7.1.2. Método de Queda Livre

Baseando-se nos instantes  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  em que um corpo em queda livre assume as posições  $Z_1$ ,  $Z_2$ , e  $Z_3$  respectivamente, pode-se escrever pela equação do movimento :



$$Z_2 = Z_1 + V_1(t_2 - t_1) + \frac{1}{2} g (t_2 - t_1)^2 \quad (2.39)$$

$$Z_3 = Z_1 + V_1(t_3 - t_1) + \frac{1}{2} g (t_3 - t_1)^2 \quad (2.40)$$

FIG. 10 - MÉTODO QUEDA LIVRE

Isolando-se  $v_1$  e fazendo-se algumas operações algébricas, resulta :

$$g = 2 \frac{(Z_3 - Z_1)(t_2 - t_1) - (Z_2 - Z_1)(t_3 - t_1)}{(t_3 - t_1)(t_2 - t_1)(t_3 - t_2)} \quad (2.41)$$

A equação (2.41) permite o cálculo de  $g$  em função de três instantes. No caso de mais observações resulta em equações do tipo :

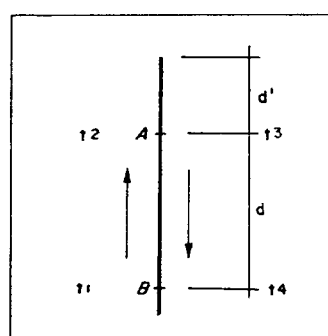
$$Z_i + V_i(t_i - t_1) + \frac{1}{2} g (t_i - t_1)^2 = Z_i + v_i \quad (2.42)$$

$$i = 1, n$$

onde :  $v_i$  - resíduos das observações.

Das equações (2.42) são derivadas as três equações normais que permitem o cálculo das incógnitas  $g$ ,  $V_1$  e  $Z_1$ .

Um outro método de determinação da gravidade por queda livre é conhecido como o método das duas estações. Consiste em se lançar um corpo verticalmente de baixo para cima e observar os instantes de passagem  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  e  $t_4$  pelas estações  $A$  e  $B$  nos dois sentidos. Da figura 11 :



$$d + d' = \frac{1}{2} g \left( \frac{t_4 - t_1}{2} \right)^2 \quad (2.43)$$

$$d' = \frac{1}{2} g \left( \frac{t_3 - t_2}{2} \right)^2 \quad (2.44)$$

FIG. 11 - MÉTODO DAS DUAS ESTAÇÕES

Substituindo (2.44) em (2.43) e fazendo algumas operações algébricas resulta :

$$g = \frac{8d}{(t_4 - t_1)^2 - (t_3 - t_2)^2} \quad (2.45)$$

Em Gemael /04/ é demonstrado que para se obter  $g$  com precisão de  $1\mu\text{Gal}$  é necessário medir-se uma distância de 1 metro com precisão de 10nm e o intervalo de 0,5 segundos com precisão do centésimo milionésimo do segundo.

### 2.7.2. Determinações Relativas

São determinações onde mede-se a variação da gravidade de uma estação onde ela é conhecida para uma outra onde se quer determinar. As determinações relativas são feitas por métodos pendulares ou através de gravímetros.

#### 2.7.2.1. Método Pendular

Consiste em se colocar um pêndulo para oscilar numa estação com valor da gravidade determinado e em outra onde se quer determinar. Deste modo geram-se duas equações :

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_1}} \quad \text{e} \quad T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_2}} \quad (2.46)$$

que resultam em :

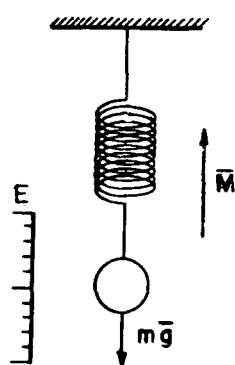
$$g^2 = g^1 \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad (2.47)$$

Assim sendo a determinação do valor de  $g$  é relacionada diretamente com a variação do período nas duas estações.

Para se obter uma precisão na determinação de  $g$  de 1mGal é necessário determinar o período ao nível de  $0,5 \times 10^{-6}$ s (meio milionésimo de segundos) para o caso de um pêndulo com período de 1 segundo.

#### 2.7.2.2. Gravímetros

O princípio de funcionamento de um gravímetro baseia-se em equilibrar um corpo com uma força antagônica, geralmente elástica. A variação da posição de equilíbrio do sistema em função da variação da gravidade permite a avaliação do seu valor. O princípio pode ser entendido observando-se uma esfera suspensa na extremidade de uma mola onde o valor da gravidade é compensado pela força elástica  $\bar{M}$  da mola. Da Lei de Hooke :



$$mg = K(l - l_0) \quad (2.48)$$

onde :  $l_0$  - comprimento da mola livre.

$l$  - comprimento da mola carregada.

$K$  - coeficiente elástico da mola.

FIG. 12 - LEI DE HOOKE

Assim numa primeira estação :

$$g = K \frac{\Delta l}{m} \quad (2.49)$$

Numa segunda estação haverá uma variação de  $g$  e conseqüentemente uma variação em  $\Delta l$ , ou seja

$$g + dg \Leftrightarrow \Delta l + dl \quad (2.50)$$

A deformação  $dl$  pode ser medida numa escala e deste modo

$$dg = c \, dl \quad (2.51)$$

onde :  $dg$  - variação da gravidade.

$dl$  - variação do comprimento da mola.

$c$  - fator de calibração previamente determinado.

Baseados neste princípio, os gravímetros deram grande impulso às determinações gravimétricas uma vez que o método pendular, usado até 1920, implicava em uma estação por dia, enquanto que com eles o tempo recaiu para 5 minutos por estação. /04/

Por ser baseado em princípios elásticos, com o tempo, o sistema mecânico dos gravímetros sofre deformações irreversíveis causadas pelo "cansaço" da mola. Essa deformação causa uma variação no valor indicado pelo gravímetro para uma mesma estação no decorrer do tempo, conhecida como deriva.

Existem dois tipos de deriva :

Deriva estática - quando o gravímetro esta em repouso.

Deriva dinâmica - quando o gravímetro esta em movimento.

Os levantamentos gravimétricos efetuados por gravímetros são realizados sempre em circuitos fechados onde existe pelo menos uma estação com valor da gravidade determinado. Deste modo a correção dos dois tipos de deriva é relativamente simples. Num levantamento gravimétrico toda vez que houver a necessidade de se interromper o trabalho por mais de 2 horas, efetua-se uma leitura ao estacionar e outra ao reiniciar os trabalhos. A diferença detectada é descontada das leituras subseqüentes.

No caso da deriva dinâmica, esta é tida como linear no tempo e a sua correção é feita da seguinte forma :

$$C_{di} = \frac{\Delta T_i \Delta l}{\Delta T} \quad (2.52)$$

onde :  $C_{di}$  - correção da deriva dinâmica na  $i$ -ésima estação.

$\Delta T_i$  - tempo transcorrido entre a medida na estação base e a medida na  $i$ -ésima estação.

$\Delta T$  - tempo total do levantamento (saída e retorno a estação base).

$\Delta l$  - diferença de leitura na estação base.

Em trabalhos de precisão é necessário ainda fazer-se

a correção de maré que é dada por :

$$C_{\text{maré}} = k \frac{M_p p^3}{a^2} [ 3 \cos^2 Z - 1 ] \quad (2.53)$$

onde :  $M_p$  - massa do astro perturbador.

$p$  - paralaxe horizontal do astro perturbador

valores máximos  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Sol} = 8,9'' \\ \text{Lua} = 61,6' \end{array} \right.$

$Z$  - distância zenital do astro perturbador.

$a$  - raio da esfera de mesmo volume que o elipsóide adotado.

A formulação (2.53) é válida para o caso de uma Terra perfeitamente rígida, o que na realidade não ocorre. Para conferir à formulação a característica elástica da Terra, faz-se a aplicação de uma fator de elasticidade  $\delta$ . Esse fator, até algum tempo, era aceito como sendo de 1,2 (um vírgula dois) para todo o Brasil. Pesquisas realizadas pela Universidade Federal do Paraná em conjunto com o Observatório Real da Bélgica, comprovaram que esse fator é variável de região para região. Em Andrade<sup>'01/</sup> é apresentada a tabela 1 com os valores preliminares dessa constante, para diversas localidades do Brasil.



Tabela 1 - Fator de Elasticidade para a Correção de Maré

LOCALIDADE	$\delta$
Curitiba	1,1855
Santa Maria	1,1442
Campo Grande	1,1792
Viçosa	1,1956
Cuiabá	1,1663
Goiânia	1,1713
Caicó	1.2324

Na formulação (2.53) é ainda feita a seguinte aproximação :

$$g = k \frac{M}{a^2} \quad \text{ou} \quad g = \frac{k}{a^2} \quad (\text{ massa unitária })$$

onde M é a massa da Terra.

Tal aproximação resulta num valor médio para a gravidade igual a :

$$g = 982024 \text{ mGal}$$

Finalmente a (2.53) assume a seguinte forma :

$$C_{\text{maré}} = \delta g p^3 M_T ( 3 \cos^2 Z - 1 ) \quad (2.54)$$

onde :  $M_T$  - relação entre massa do astro perturbador e a massa

$$\text{da Terra} - M_T = \begin{cases} \text{Sol} \rightarrow 333\,432 \\ \text{Lua} \rightarrow 1/80 \end{cases}$$

### 3. Geração Automática de Mapas de Contorno

O resultado final de um levantamento gravimétrico pode ser visualizado como uma lista de estações gravimétricas onde são conhecidas as coordenadas geográficas, as altitudes, os valores da gravidade e as anomalias da gravidade de cada uma delas. A partir dessa lista numérica podem ser gerados curvas de isovalor em mapas de contorno estabelecendo-se assim, as variações e/ou inter-relações espaciais dos parâmetros obtidos. A tarefa de obtenção desses mapas é extremamente penosa quando feita manualmente, entretanto rápida, precisa e versátil se feita por um processo automático.

Sabe-se que, a menos de situações especiais, em levantamentos gravimétricos são geradas malhas de pontos distribuídos de forma irregular e com densidade variável. Nos procedimentos automáticos usuais é feita uma regularização da malha com a finalidade de obterem-se curvas de isovalor mais suaves ao mesmo tempo que se conseguem facilidades computacionais. Essa melhoria geométrica na malha original é alcançada por um processo de interpolação. Entende-se por interpolação a técnica de ajuste de uma função matemática aos dados originais para cálculo de valores em pontos não levantados ou desconhecidos. Nesse processo é superposta uma outra malha com espaçamento regular sobre a primeira e em seguida, a partir dos pontos levantados, é interpolado o valor para os nós dessa segunda malha.

Segundo Yamamoto<sup>/17/</sup> o problema na obtenção da malha regular resume-se na definição da origem e do espaçamento desta. Isto pode ser feito empiricamente pelo usuário ou numericamente a partir dos pontos de dados. Em seu trabalho é apresentado um método de cálculo para obtenção do espaçamento, baseado no conceito de distância média. A distância média é calculada por :

$$DMED = \sqrt{\frac{(XMAX - XMIN) \times (YMAX - YMIN)}{N}} \quad (3.1)$$

onde : DMED -- distância média  
 XMAX -- coordenada leste-oeste máxima  
 XMIN -- coordenada leste-oeste mínima  
 YMAX -- coordenada norte-sul máxima  
 YMIN -- coordenada norte-sul mínima  
 N -- número total de pontos

O espaçamento da malha nas direções X e Y (DX e DY) deve satisfazer a inequação :

$$\frac{DMED}{4} \leq DX \text{ e } DY \leq \frac{DMED}{2} \quad (3.2)$$

Outro fator importante na interpolação é a definição da área de interesse compreendidas pelos pontos de dados , uma vez que a interpolação só é confiável dentro desse domínio. Essa área de domínio é conhecida como fronteira convexa.

Define-se fronteira convexa de um conjunto planar como sendo o polígono convexo de área mínima que engloba o conjunto planar. Um polígono é dito convexo quando a semi-reta que une dois pontos quaisquer no interior do polígono esta totalmente contida nele ( FIG. 13). Yamamoto<sup>17/</sup> em seu trabalho descreve um método proposto por Eddy(1977) para o estabelecimento do polígono convexo.

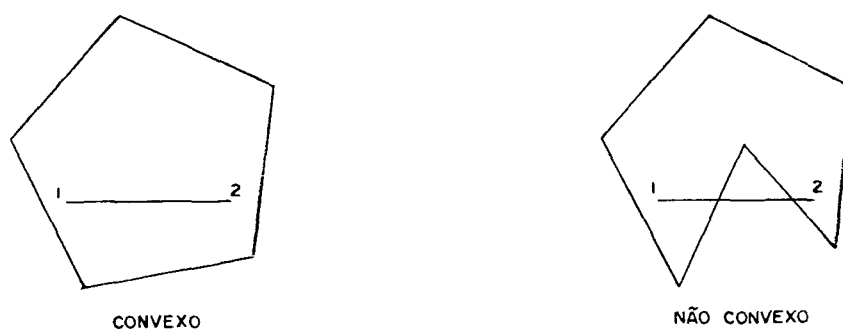


FIG. 13 - POLÍGONOS CONVEXOS E NÃO CONVEXOS

Determinado o polígono convexo é necessário se estabelecer quais nós da malha regular estão na área englobada pelo polígono. Yamamoto<sup>17/</sup> estudou dois algoritmos e concluiu que o proposto por Hall(1977) é o mais preciso e confiável. Esse algoritmo calcula o somatório dos ângulos formados por um ponto dado e os vértices do polígono convexo. Se o somatório for igual a zero graus (  $0^{\circ}$  ) o ponto esta fora da fronteira convexa, mas se o somatório for igual a trezentos e sessenta graus (  $360^{\circ}$  ) o ponto se encontra dentro da fronteira convexa.(FIG. 14) Estabelecidos quais nós da malha regular pertencem a fronteira convexa, basta interpolar os valores a partir dos pontos levantados.

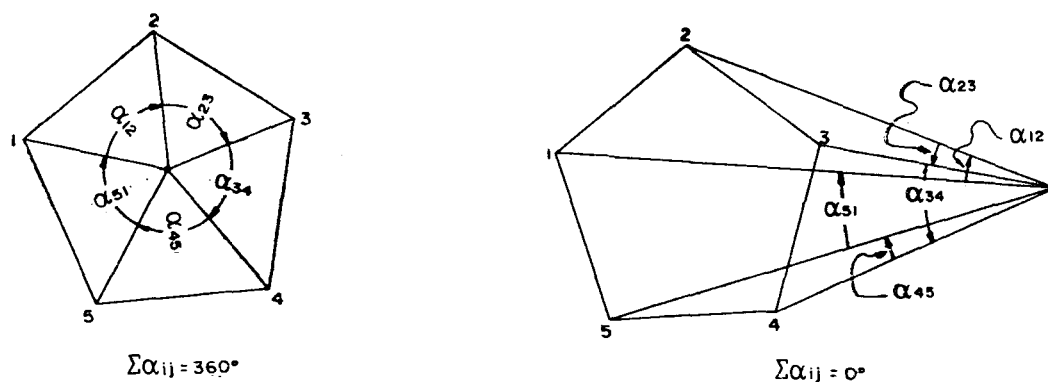


FIG. 14 - ALGORITMO DE HALL

### 3.1. Funções Interpoladoras

As funções interpoladoras podem ser divididas em funções globais e funções locais. As globais são aquelas que consideram todos os pontos de dados, de tal modo que se pode interpolar a função para qualquer ponto dentro desse domínio. Pelo fato da função ser dependente de todos os pontos, a inclusão e/ou exclusão de algum deles ou mesmo algum erro grosseiro afetará todo o domínio da função. As funções locais são definidas para pequenas áreas do mapa e assim, sucessivamente, até cobrir toda a extensão do mapa. Deste modo a inclusão e /ou exclusão afetará apenas localmente.

As funções interpoladoras podem ainda ser divididas em funções exatas e funções aproximadas. Diz-se que uma função é exata quando o resíduo ( diferença entre o valor calculado pela função e o valor observado ) é nulo e aproximado quando for diferente.

A aplicação de um tipo ou outro de função depende da natureza dos dados e do tipo de mapa que se deseja. Assim se os dados forem oriundos de um levantamento de campo, e como tal acompanhados de erros de observação, é recomendável, segundo Yamamoto<sup>17</sup>, um interpolador aproximado que ao filtrar os dados pode vir a minimizar os erros. A utilização de um interpolador exato é indicado quando os dados coletados forem isentos de erros ou seguirem o comportamento de uma função determinística e o mapa será utilizado para cálculos precisos.

### 3.1.1. Funções Globais

#### 3.1.1.1. Polinomiais

As funções polinomiais em princípio podem descrever de forma aproximada o comportamento de uma superfície. A fórmula geral de um polinômio bivariado ( com duas variáveis ) é dada por :

$$F = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} c_{ij} x^i y^j \quad (3.3)$$

onde : F - variável dependente  
 m - grau do polinômio  
 $c_{ij}$  - coeficientes do polinômio  
 y - coordenada norte-sul  
 x - coordenada leste-oeste

O número de coeficientes ( $n_o$ ) em função do grau do polinômio é dado por :

$$n_o = \frac{(m+1)(m+2)}{2} \quad (3.4)$$

A obtenção dos coeficientes é feita através da resolução de um sistema linear de equações. Um polinômio de grau dois (2) , por exemplo, expandido segundo a fórmula (3.2) adquire a seguinte forma :

$$F = C_{00} + C_{10}x + C_{01}y + C_{20}x^2 + C_{11}xy + C_{02}y^2 \quad (3.5)$$

Para resolvê-lo são necessários no mínimo seis equações o que implica em seis pontos de dados. O sistema linear obtido a partir das substituições das coordenadas independentes ( $x,y$ ) e do parâmetro dependente ( $F$ ) na equação (3.5) , resulta no sistema matricial abaixo :

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1^2 & x_1 y_1 & y_1^2 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2^2 & x_2 y_2 & y_2^2 \\ 1 & x_3 & y_3 & x_3^2 & x_3 y_3 & y_3^2 \\ 1 & x_4 & y_4 & x_4^2 & x_4 y_4 & y_4^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & x_n^2 & x_n y_n & y_n^2 \end{bmatrix}_n \begin{bmatrix} C_{00} \\ C_{10} \\ C_{01} \\ C_{20} \\ C_{11} \\ C_{02} \end{bmatrix}_6 = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix}_n \quad (3.6)$$

onde :  $n$  - número de pontos.

Aplicando-se o método dos mínimos quadrados em (3.6) chega-se a um sistema de equações normais. A resolução desse sistema por algum método direto ou iterativo tem como

resultado o valor dos coeficientes bem como a estimativa de precisão deles. Teoricamente quando o grau do polinômio é igual ao número de pontos o ajuste é dito exato. Na prática esse procedimento é inviável quando a quantidade de pontos é elevada, uma vez que a resolução do sistema se tornar extremamente lenta.

A figura 15, extraída de Yamamoto<sup>17/</sup> exemplifica bem o ajuste que um polinômio de grau elevado pode proporcionar.

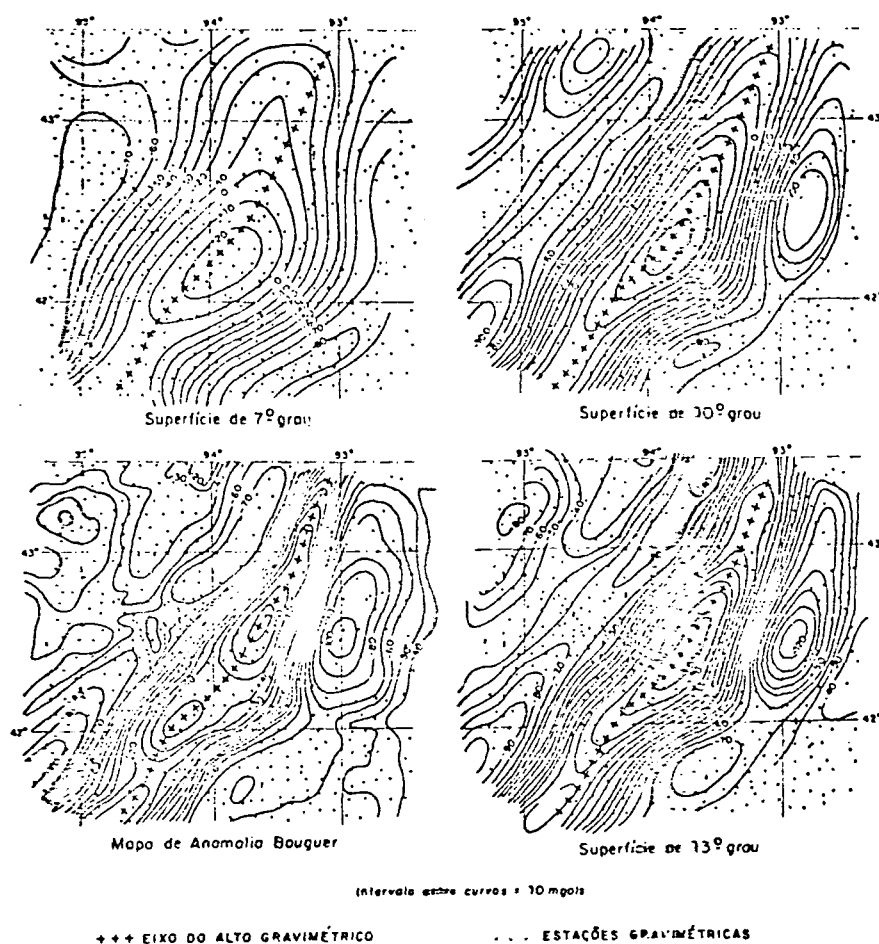


FIG. 15 - GRAUS DIFERENTES DE POLINÔMIO PARA REPRESENTAR A MESMA ÁREA



### 3.1.1.2. Multiquadráticas

Um outro tipo de função global utilizada é o das equações multiquadráticas. A interpolação por função multiquadrática (do tipo exata) é baseada na idéia de que qualquer superfície suave pode ser aproximada com o grau de precisão desejado pela somatória de uma série de superfícies regulares. Yamamoto<sup>/17/</sup> cita que Franke (1982) após testar vários métodos de interpolação, concluiu que o método das multiquadráticas é o que apresenta maior capacidade de ajuste e suavidade. Uma equação multiquadrática pode ser escrita como :

$$F = \sum_{i=1}^n c_i \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + C} \quad (3.7)$$

onde : F - variável dependente

$c_i$  - coeficientes da equação multiquadrática

$x_i$  - coordenada leste-oeste do ponto i

$y_i$  - coordenada norte-sul do ponto i

x - coordenada leste-oeste do ponto a ser interpolado

y - coordenada norte-sul do ponto a ser interpolado

C - constante que define os termos da superfície multiquadrática

Geometricamente se  $C = 0$  a superfície gerada pela equação (3.7) é representada por uma sucessão de cones, ao passo que para  $C \neq 0$  implica numa sucessão de hiperbolóides. É citado em Yamamoto<sup>/17/</sup> que segundo Hardy (1985) o valor escolhido para a constante C deve ser igual a zero ou a um

valor pequeno uma vez que se for escolhido um valor grande, pode ocorrer um mau condicionamento do sistema. É indicado por esse mesmo autor o valor de  $C = 0,6$  do espaçamento entre os pontos.

Então a partir da equação (3.7) pode-se gerar um sistema de equações para o cálculo dos coeficientes da seguinte forma :

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\text{onde : } a_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + C}$$

$$a_{ii} = \sqrt{C}$$

Este pode ser resolvido por algum método direto ou iterativo. No caso de ser escolhido  $C = 0$ , o que implica na diagonal principal ser nula, pode-se optar pela permuta de linhas e colunas ou pela pré-multiplicação dos dois lados da igualdade pela matriz transposta dos coeficientes. A limitação deste método reside no fato do sistema ter dimensões iguais ao número de pontos.

### 3.1.2. Funções Locais

#### 3.1.2.1. Ponderação pelo Inverso da Distância

O método de interpolação usando ponderação pelo inverso da distância, é calculado pela seguinte fórmula :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3.9)$$

$$W_i = \frac{1}{D_i^p} \quad (3.10)$$

$$D_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (3.11)$$

onde :  $F$  - variável dependente  
 $F_i$  - valor observado no ponto  $i$   
 $W_i$  - ponderador  
 $n$  - número de pontos dentro da vizinhança ao ponto a ser interpolado  
 $D_i$  - distância entre o ponto  $i$  e o ponto a ser interpolado  
 $p$  - potência da distância

Se o ponto a ser interpolado coincidir com algum ponto observado, faz-se :

$$F = F_i \quad (3.12)$$

Segundo Yamamoto<sup>/17/</sup> quando ocorre essa coincidência

são geradas áreas planas ao redor desse ponto em razão da derivada parcial de 1ª ordem ser nula em todos os pontos levantados. Para evitar essas áreas planas a interpolação é feita em dois estágios. Num primeiro passo são calculadas as projeções das inclinações das superfícies que passam pelos pontos levantados sobre o ponto a ser interpolado. Em seguida calcula-se a média dessas projeções, ponderadas pelo inverso da distância, como sendo o valor interpolado. Este é o método de interpolação mais utilizado atualmente para fins de contorno automático de mapas de isolinhas<sup>/17/</sup>.

O fato de se utilizar um ponderador ( $W_i$ ) calculado pelo inverso da potência de uma distância implica que os pontos próximos têm maior influência na interpolação. Embora a potência possa ser variada de modo a se conseguir dar maior peso aos pontos mais próximos, não é feita nenhuma menção a algum valor particular para o índice  $r$  da equação (3.10), na bibliografia consultada.

### 3.1.2.2. Krigagem

Um outro método de interpolação conhecido como Krigagem, proposto por Daniel G. Krige, é fundamentado na Teoria das Variáveis Regionalizadas. Segundo Yamamoto<sup>/17/</sup>:

" A Krigagem é um método geoestatístico de estimação que usa as informações dos pontos vizinhos, considerando não somente os valores de teor, mas também a posição espacial relativa dos mesmos ".

Esse método desenvolvido inicialmente para estimar reservas minerais pode ser utilizado para interpolação em malhas regulares com a finalidade de gerar linhas de contorno.

A partir de um conjunto de dados  $Z(x_i)$ ,  $i = 1, n$  pertencentes a vizinhança de um ponto da malha é calculado o valor estimado  $\hat{Z}_v$  para esse ponto.

O valor estimado  $\hat{Z}_v$  para cada ponto da malha é obtido pela combinação linear de  $n$  pontos de dados.

$$\hat{Z}_v = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3.13)$$

O objetivo final desse método é determinar os valores dos estimadores  $\lambda_i$  de modo que ele seja o melhor estimador linear não-tendencioso. Para que o estimador não seja não-tendencioso é necessário que :

$$E [ Z_v - \hat{Z}_v ] = 0 \quad (3.14)$$

ou seja :

$$E [ Z_v ] = E [ \hat{Z}_v ] \quad (3.15)$$

Um rápido desenvolvimento matemático a partir das equações (3.13) e (3.14) nos mostra que, para o estimador linear ser o melhor possível, basta que :

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3.16)$$

As estimativas feitas por esse método devem ser tais que a variância seja mínima. A variância da Krigagem é dada por :

$$\sigma_E^2 = E \left[ (Z_v - \hat{Z}_v)^2 \right] \quad (3.17)$$

Sabendo-se que a estimativa de um valor médio sobre um domínio  $V$  é dado por :

$$E(Z_v) = \frac{1}{V} \int_V Z(x) dx \quad (3.18)$$

após algumas operações chega-se a <sup>17/</sup> :

$$\sigma_E^2 = \bar{c}(v,v) - 2 \sum_i \lambda_i \bar{c}(V,v_i) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{c}(v_i,v_j) \quad (3.19)$$

$$\text{com : } \bar{c}(v,v) = \frac{1}{v^2} \int_v dx \int_v c(x-x') dx' \quad (3.20)$$

$$\bar{c}(V,v_i) = \frac{1}{Vv_i} \int_v dx \int_{v_i} c(x-x') dx' \quad (3.21)$$

$$\bar{c}(v_i,v_j) = \frac{1}{v_i v_j} \int_{v_i} dx \int_{v_j} c(x-x') dx' \quad (3.22)$$

onde :  $\bar{c}(v,v)$  - valor médio da função covariância entre os pares de pontos dentro do volume  $V$ .

$\bar{c}(V,v_i)$  - valor médio da função covariância entre as amostras  $v_i$  e todo o volume  $V$ .

$\bar{c}(v_i,v_j)$  - valor médio da função covariância entre todos os pares possíveis de amostras  $v_i$  e  $v_j$ .

Como a equação (3.19) possui  $n$  variáveis, para minimizá-la aplica-se o método dos multiplicadores de Lagrange restrito a condição imposta pela equação (3.16). Deste modo obtém-se o Lagrangeano :

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \mu) = \bar{c}(v, v) - 2 \sum_i \lambda_i \bar{c}(v, v_i) + \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \bar{c}(v_i, v_j) - 2\mu (\sum_i \lambda_i - 1) \quad (3.23)$$

onde :  $L(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \mu)$  - Lagrangeano

$\mu$  - multiplicador de Lagrange.

Ao fazer-se  $\frac{dL}{d\lambda} = 0$  obtém-se :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \bar{c}(v_i, v_j) - \mu = \bar{c}(v_i, v) \quad i = 1, n \quad (3.24)$$

e  $\frac{dL}{d\mu} = 0$  obtém-se :

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (3.25)$$

Tais equações, (3.24) e (3.25) , são as equações ou sistema de Krigagem. Este sistema ao ser solucionado, determina os ponderadores  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$  com variância minimizada.

Este método depende fundamentalmente do cálculo dos termos  $\bar{c}$  e por consequência, do ajuste do modelo teórico aos dados. Segundo Yamamoto<sup>'17'</sup>, o ajuste do modelo teórico é bastante subjetivo, além de, em geral, o número de pontos ser pequeno para uma estimativa confiável.

### 3.1.2.3 - Multiquadráticas para suportes locais

Este método é uma adaptação de uma função global para uma área restrita. Esse estudo foi efetuado num trabalho anterior de Yamamoto (1986), no qual se conclui que :

- 1º - o método é viável
- 2º - o número de pontos vizinhos ao ponto interpolado deve situar-se 12 a 24
- 3º - o valor de C não deve ser igual a zero e sim escolhido em função da ordem de grandesa dada pela distância média entre os pontos levantados. (fórmulas (3.1) e (3.2) ).

Este método é dependente do sistema de coordenadas escolhido, e deste modo, não é recomendado a utilização daquelas como o UTM que trabalham com coordenadas numericamente grandes. Nessa situação, deve-se optar por uma transformação de coordenadas.



### 3.1.2.4 - Redes Triangulares

Uma outra técnica de interpolação consiste em se gerar um particionamento triangular ao invés de se superpor uma malha de pontos com distribuição regular sobre os pontos levantados. Nesse processo, após a geração da malha triangular é feita uma interpolação dentro do domínio de cada célula triangular.

Existem várias maneiras de se construir a malha triangular, todavia a mais aceita é a triangularização de Delauney. Essa triangularização tem origem na divisão de Dirichlet. A divisão de Dirichlet consiste em se construir polígonos convexos em torno de cada ponto levantado de modo que dois polígonos contíguos possuam apenas uma aresta em comum. Essa aresta é equidistante dos pontos contíguos internos. A triangularização é obtida pela união desses pontos.

Na figura 16, as linhas pontilhadas representam os polígonos convexos oriundos da divisão de Dirichlet, e as linhas contínuas representam a triangularização de Delauney.

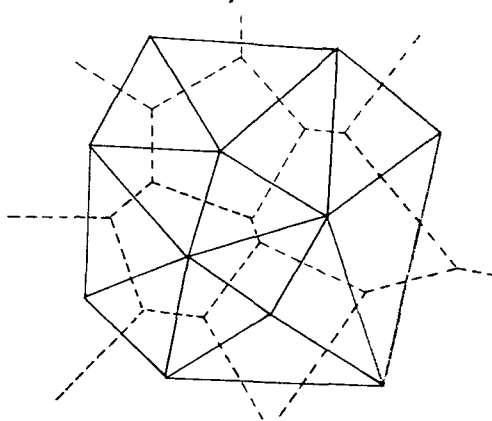


FIG. 16 - TRIANGULARIZAÇÃO DE DELAUNEY

Construída a rede passa-se a fase de interpolação. Existem três maneiras de se fazer essa interpolação :

- 1<sup>a</sup> - interpolação linear através das informações dos três vértices de cada triângulo.
- 2<sup>a</sup> - interpolação utilizando-se ponderadores associados a cada vértice do triângulo de tal modo que ao se calcular esses ponderadores esteja garantida a suavidade e continuidade lateral dos triângulos.
- 3<sup>a</sup> - interpolação a partir do ajuste de uma superfície de grau 5 em cada triângulo.

No caso da última hipótese é necessária adotar-se um artifício matemático, uma vez que um polinômio de grau 5 exige 21 equações e os três pontos fornecem apenas 3 equações. Yamamoto<sup>17</sup>, cita que Akima (1978) propõe para solução, a geração das 18 equações faltantes a partir da utilização das derivadas parciais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> ordens calculadas para cada vértice do triângulo bem como as derivadas normais as arestas deste. Este artifício em alguns casos pode comprometer a confiabilidade nos resultados finais e só deve ser usado nos casos em que os valores de F são precisos ou os erros puderem ser negligenciados.

Um aspecto importante a ser lembrado nesse método de interpolação local, é o fato de que todos os pontos participam do particionamento em células triangulares, e a inclusão e/ou exclusão de algum deles afeta todo o aspecto da rede triangular.

### 3.2 - Determinação de Vizinhança

Quando se trabalha com funções interpoladoras locais, com excessão a triangularização de Delauney, depara-se com o problema de se ter de escolher os pontos levantados que participaram da interpolação de um determinado ponto da malha regular. O critério de escolha esta diretamente relacionado ao tipo de distribuição de pontos que se possui. Em princípio a distribuição espacial dos dados pode ser de três tipos :

- 1<sup>a</sup> - distribuição aleatória - quando os pontos de dados se distribuem de forma uniforme sobre a área em estudo.
- 2<sup>a</sup> - distribuição semi-regular - quando os dados se distribuem ao longo de alguns alinhamentos como seções de um nivelamento.
- 3<sup>a</sup> - distribuição regular - quando os pontos de dados estão distribuidos em forma de uma malha regular

Dos três tipos de distribuição apresentados, com certeza, o segundo tipo é o mais comum de ser encontrado. Baseado nesses tipos de distribuição pode-se optar por um critério de escolha. Existem três métodos de escolha de pontos :

- O primeiro método utiliza um raio denominado raio de influência centrado sobre o nó da malha regular e verifica quais pontos estão no seu interior. Este raio pode ser estipulado empiricamente pelo usuário ou calculado mediante a formulação proposta por

Shepard (1968) citada em Yamamoto<sup>17</sup>. A formulação proposta é :

$$R = \sqrt{\frac{7 A}{\pi N}} \quad (3.26)$$

onde : R - raio de influência de tal modo que em média 7 pontos são utilizados na interpolação.

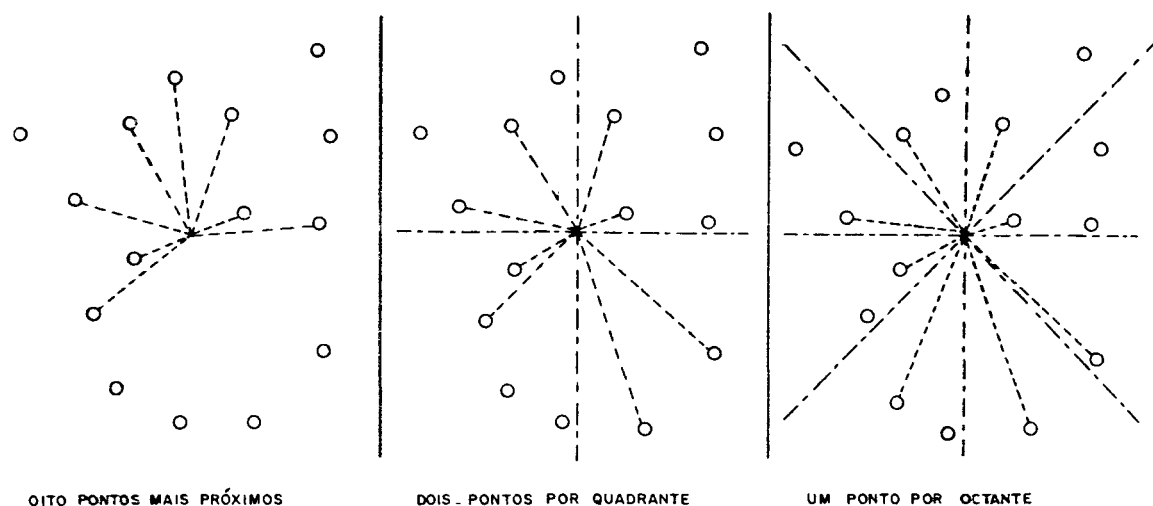
A - área do maior polígono inscrito.

N - número total de pontos

- No segundo método o usuário estabelece quantos pontos devem participar da interpolação e o um algoritmo escolhe os mais próximos. Normalmente entre 4 a 16 pontos.
- No terceiro método o usuário divide a área em torno do ponto da malha em quadrantes ou octantes e trabalhando com um ou dois pontos em cada setor realiza a interpolação.

Nos dois primeiros casos, dependendo da distribuição de pontos que se possui, pode-se correr o risco de que os pontos escolhidos não sejam uma amostra representativa ao passo que no terceiro critério isso não ocorre. Na figura (17) pode-se visualizar as três formas de escolha para uma mesma

distribuição de pontos.



**FIG. 17 - CRITÉRIOS DE ESCOLHA DE PONTOS PARA INTERPOLAÇÕES LOCAIS**

Embora possa-se escolher qualquer um dos métodos de escolha de pontos ainda existe o problema de como localizar os pontos que atenda uma dos requisitos, de maneira eficiente. O método mais óbvio seria o de se determinar a distância de todos os pontos ao nó de interesse e escolher os mais próximos que atenda uma das três opções, todavia esse processo é ineficiente. Yamamoto em um trabalho anterior propôs um algoritmo que inicialmente classifica e ordena os pontos segundo as células da malha regular a que pertencem e em seguida por um processo de recuperação escolhe os pontos que efetivamente tem relevância na interpolação. Nesse processo numera-se as células em ordem sequencial do sul para o norte e do leste para oeste. Em seguida, utilizando-se a seguinte

formulação, determina-se a que célula pertence o ponto.

$$I = \frac{(Y - Y_{MIN})}{DY + 1} \quad (3.27)$$

$$J = \frac{(X - X_{MIN})}{DX + 1} \quad (3.28)$$

$$NCEL = I + NY \times (J - 1) \quad (3.29)$$

onde : YMIN - coordenada Y mínima  
 XMIN - coordenada X mínima  
 DY - espaçamento da célula segundo o eixo Y  
 DX - espaçamento da célula segundo o eixo X  
 NCEL - número da célula  
 NY - número de células no eixo Y

Neste processo, ao se proceder a classificação e ordenação dos dados, é gerado paralelamente três vetores com dimensões iguais ao número de células, os quais tem a finalidade de tornar a recuperação dos dados mais rápida. O primeiro vetor guarda o número de pontos pertencentes a célula e os dois outros indicam a posição de leitura inicial e final dos dados de uma determinada célula. Assim, ao se fornecer os índices IN e JN que correspondem a um determinado nó, rapidamente pode-se saber quais as células vizinhas, quantos pontos elas possuem e quais destes pontos serão utilizados na interpolação.

### 3.3 - Contorno Automático

Quando se trabalha com malhas regulares os algoritmos de contornos se restringem a dois tipos. O primeiro denominado de método das células pesquisa célula por célula até cobrir toda a malha, estabelecendo em cada uma delas as intersecções das curvas de contorno. O outro método denominado de método de rastreamento, procura localizar todos os pontos pertencentes a uma mesma curva de contorno sobre toda a extensão da malha. A vantagem do segundo método esta em se poder escrever o valor da curva sobre ela mesma ao mesmo tempo que facilita o trabalho de plotagem, uma vez que o ploter pode percorrer toda uma curva de contorno ao invés de interromper a cada vez que encerra uma célula. Yamamoto cita que Pettinati adaptou o primeiro método de modo a eliminar o inconveniente acima exposto.

Para se obter uma curva suave, tanto em um método como em outro, é indicada a subdivisão de cada célula em quatro triângulos de modo que o vértice comum seja o centro da célula. Em seguida calcula-se o valor de  $F$  para esse ponto como sendo a média aritmética dos quatro nós da célula.

No caso de mapas de contorno muito grandes é interessante a subdivisão em blocos e processa-los separadamente como meio de melhorar o performace.

#### 4. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS

O Sistema de Processamento de Dados Gravimétricos (SPDG) desenvolvido por Ronald J. Buck do "Geological Survey of Canada", foi concebido para através de um conjunto de programas e menus específicos, processar dados gravimétricos oriundos de levantamentos, ajustando-os pelo método dos mínimos quadrados e calculando as anomalias de Free-air e Bouguer.

Os programas do sistema são escritos em duas linguagens de programação. Aqueles processamentos que manipulam e exibem o menu principal do SPDG e mostram arquivos no monitor ou descarregam arquivos na impressora, são escritos em linguagem BASIC porque esta apresenta um controle mais eficiente das funções que são utilizadas pelos micros para essas finalidades, ao passo que aqueles que fazem o processamentos dos dados, são escritos em FORTRAN77.

O sistema possibilita dois modos de processamento. O primeiro modo calcula o valor da gravidade de pontos levantados na forma de circuitos gravimétricos apoiados em uma rede básica composta por estações chamadas Estações de Controle. O segundo modo ajusta redes gravimétricas que podem vir a ser suporte para adensamentos gravimétricos.

Para esses processamentos, o SPDG verifica a existência de alguns arquivos iniciais e caso não existam ele informa ao usuário, que deverá, com o auxílio de programas do



próprio sistema criá-los. Os arquivos necessários são o BASES.DAT que contém as informações dos pontos pertencentes a rede básica, o INST#.DAT\* que contém informações sobre o(s) gravímetro(s) ( tabela de calibração ) utilizado(s) no levantamento e o PROJ#.TRAV# que contém os dados referentes as observações realizadas em campo. No caso dos arquivos referentes as observações é criado um arquivo por circuito. Por exemplo, se existirem três circuitos serão criados três arquivos de dados ou seja os arquivos PROJ#.001, PROJ#.002 e o PROJ#.003.

A versão 3.0 do sistema utilizada neste trabalho, é composta por cinco disquetes com programas e mais um de dados. Nela o SPDG pode ser operado de duas formas. A primeira quando o computador possui apenas duas unidades de disco flexível e na segunda forma quando o computador possui disco rígido . Na primeira hipótese o sistema é gerenciado pelo programa RUN2DISK.BAT que pede gradativamente ao usuário a troca de disquetes e na segunda pelo programa RUNHD.BAT.

Na concepção do sistema foram feitos as seguintes considerações pelo seu autor :

1<sup>o</sup> - Os arquivos de dados devem ser gerados ou recuperados num disquete residente no drive B:. Esta imposição vem do fato do autor do sistema, acreditar que os dados de distintos levantamentos gravimétricos devam ser armazenados em disquetes diferentes. Desta forma o sistema sempre procura os arquivos no drive B:.

\* - O caracter # significa que o nome do arquivo ou a extensão é fictícia.

2º - Os arquivos padronizados criados pelo SPDG quando em ASCII tem o comprimento dos registros restritos a no máximo 80 caracteres para poderem ser visualizados na tela, listados ou editados. Os arquivos temporários são arquivos binários e após o processamento são destruídos e não podem ser visualizados, listados e editados.

3º - Os nomes dos arquivos gerados são compostos por no máximo oito caracteres alfanuméricos. Por exemplo, se o nome escolhido para identificar um nivelamento for PROJ92 serão gerados os seguintes arquivos :

PROJ92.001	- arquivo que contém as observações.
a .999	(um arquivo por circuito)
PROJ92.TIE	- arquivo que contém informações sobre as diferenças de gravidade das estações de controle.
PROJ92.OBS	- arquivo que contém os dados referentes ao conjunto de observações do levantamento.
PROJ92.SET	- arquivo que contém os 20 parâmetros comuns aos circuitos de uma mesma campanha de levantamento.
PROJ92.SPC	- arquivo que contém as especificações para o ajustamento.

4º - O arquivo BASES.DAT deve estar residente no disquete dos dados.

5º - Os arquivos que contém os dados referentes aos gravímetros (INST#.DAT) devem estar no disquete de dados. O nome desses arquivo é composto por quatro caracteres alfanuméricos e começa com a letra G . Por exemplo, se o número do gravímetro for 79 o nome do arquivo será G079.DAT.

6º - Um arquivo chamado DIRETRY.DAT deve estar no disquete de dados. Isto é necessário para informar ao sistema quais arquivos estão naquele disquete. Se este arquivo não existir no disquete é criado ao ser acionado o programa RUN2DSK.BAT ou RUNHD.BAT.

7º - Os limites máximos do sistema são:

- 100 arquivos no disquete de dados.
- 200 estações de controle no arquivo BASES.DAT.
- 100 registros pertinentes a tabela de calibração do instrumento.
- 999 arquivos pertinentes aos circuitos.
- 200 bases e/ou instrumentos e/ou derivas instrumentais em um ajustamento

#### 4.1. Opções de Processamento

No SPDG o usuário tem a possibilidade de, através de seu menu (FIG. 18), escolher dentre as onze opções, dez de processamento. Essas opções podem ser reunidas em três grupos distintos : preparação, processamento e visualização dos dados.

!GRAVITY DATA PROCESSING SYSTEM!  
 Version 3.0 of June 1987  
 Developed by R. J. Buck  
 !GRAVITY DATA CENTRE!  
 !GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA!

1 ... Modify the CONTROL STATION file  
 2 ... Modify an INSTRUMENT file  
 3 ... Enter TRAVERSE observations  
 4 ... Compute TRAVERSE ANOMALIES  
 5 ... Enter NETWORK observations  
 6 ... Compute NETWORK TIES  
 7 ... Adjust a NETWORK  
 8 ... List a PRINT file (.LIS) on your printer  
 9 ... Show a DATA file on the screen  
 10 ... Compute EARTH TIDE corrections  
 11 ... Exit from the system

!Your choice!

FIG. 18 - MENU PRINCIPAL DO SPDG

No grupo de preparação dos dados podem ser enquadradas as opções 1, 2, 3 e 5, no grupo processamento as

opções 4, 6, 7 e 10 e no de visualização as opções 8 e 9.

#### 4.1.1. Criação, Modificação do Arquivo BASES.DAT

A opção número 1 é destinada a criação ou modificação do arquivo BASES.DAT. O programa utilizado é o MKBASE.EXE que verifica inicialmente a existência ou não do arquivo no disquete de dados. Se ele não existir o programa informa ao usuário e pergunta se ele deseja criá-lo. Em caso afirmativo o programa pede um número que identifique a estação de controle. Em seguida apresenta um menu pedindo ao usuário que escolha entre uma das três opções de entrada de coordenada. Escolhida a opção o programa pede sequencialmente as informações daquela estação. Todo o processo pode ser visto na figura 19.

```
PROGRAM TO CREATE OR MODIFY A CONTROL STATION FILE
VERSION OF MAY, 1987
```

```
There is no control station file called
BASES.DAT on your data diskette in B:
Do you want to CREATE on ?   (Yes, No, or Quit) ? _y
Station identifier ?_917473
```

```
Please choose the type of coordinates:
  1 = Degrees and decimal minutes,
  2 = Degrees, minutes and seconds, or
  3 = UTM northing, easting and zone.
```

```
Your choice .....?_1
Lat. degrees .....?_46
Lat. dec. minutes .?_23.61
Long. degrees .....?_63
Long. dec. minutes ?_46.55
Quadrant .....?_NW
Observed gravity ..? 980716.70
Station name .....? SUMMERSIDE
```

FIG 19 - CRIAÇÃO DO ARQUIVO BASES.DAT

Após entrar-se com a última informação da estação, o seu nome, o programa apresenta o menu de operação (FIG. 20).

```
Please choose your action:
  1 = ADD a control station,
  2 = DELETE a control station,
  3 = UPDATE a control station,
  4 = LIST all control station,
  5 = WRITE a new control station file, or
  6 = QUIT this program.
Your choice ..... ( <CR> gives      4) ?_
```

FIG. 20 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA MKBASE.EXE

Através deste menu o programa fornece seis (6) opções :

1ª - ADD - tem a finalidade de introduzir mais estações de controle no arquivo. A sequência de operação é idêntica a descrita anteriormente.

2ª - DELETE - tem a finalidade de apagar o registro de qualquer estação no arquivo. Nesta situação o programa pede ao usuário o número identificador da estação.

3ª - UPDATE - tem a finalidade de corrigir algum valor errado ou que deve ser modificado. O processamento é semelhante ao da opção 1 com a diferença de que os valores antigos vem como "default".

4ª - LIST - tem a finalidade de mostrar na tela o arquivo.

5ª -WRITE - Esta opção tem a finalidade de salvar o arquivo no disquete.

6ª - QUIT - Encerramento do programa.

No caso do arquivo BASES.DAT existir o programa transfere o arquivo para a memória do computador e informa ao usuário o número de estações de controle de arquivo e em seguida entra no menu de operação (FIG. 20). Ao sair do programa, se não foram feitas modificações, o programa dá um aviso sonoro e uma mensagem.

O arquivo BASES.DAT pode ser visto na figura 21. Na primeira coluna encontra-se o número identificador, na segunda o valor da gravidade, na terceira o nome da estação, na quarta o tipo de coordenada (1.2 ou 3) conforme critério visto anteriormente (FIG. 19) e nas restantes as coordenadas e o quadrante.

STN. ID	GRAVITY VALUE	STATION NAME	COORD. TYPE	STATION COORDINATES
917473	980733.74	SUMMERSIDE	1	46 23.61 63 47.55 NW
917573	980759.84	WEST POINT	2	46 37 14.4 64 23 15.6 NW
917673	980783.51	TIGNISH	1	46 57.90 64 2.09 NW
917773	980739.82	NORTH RUSTICO	2	46 27 33.0 63 18 40.2 NW
917873	980723.67	MURELL	1	46 24.99 62 42.53 NW
917973	980719.50	SOURIS	2	46 21 15.6 62 15 13.2 NW
918073	980701.85	MURRAY RIVER	1	46 0.62 62 36.79 NW
934180	980717.11	CHARLOTTETOWN	2	46 17 16.2 63 7 54.0 NW
934280	980721.46	CHARLOTTETOWN	1	46 14.00 63 7.66 NW
902186	980716.70	CHARLOTTETOWN	1	46 16.73 63 8.00 NW

Press (CR) to continue .....

FIG. 21- ARQUIVO BASES.DAT

Na figura 22 é apresentado o fluxograma do programa MKBASE.EXE.

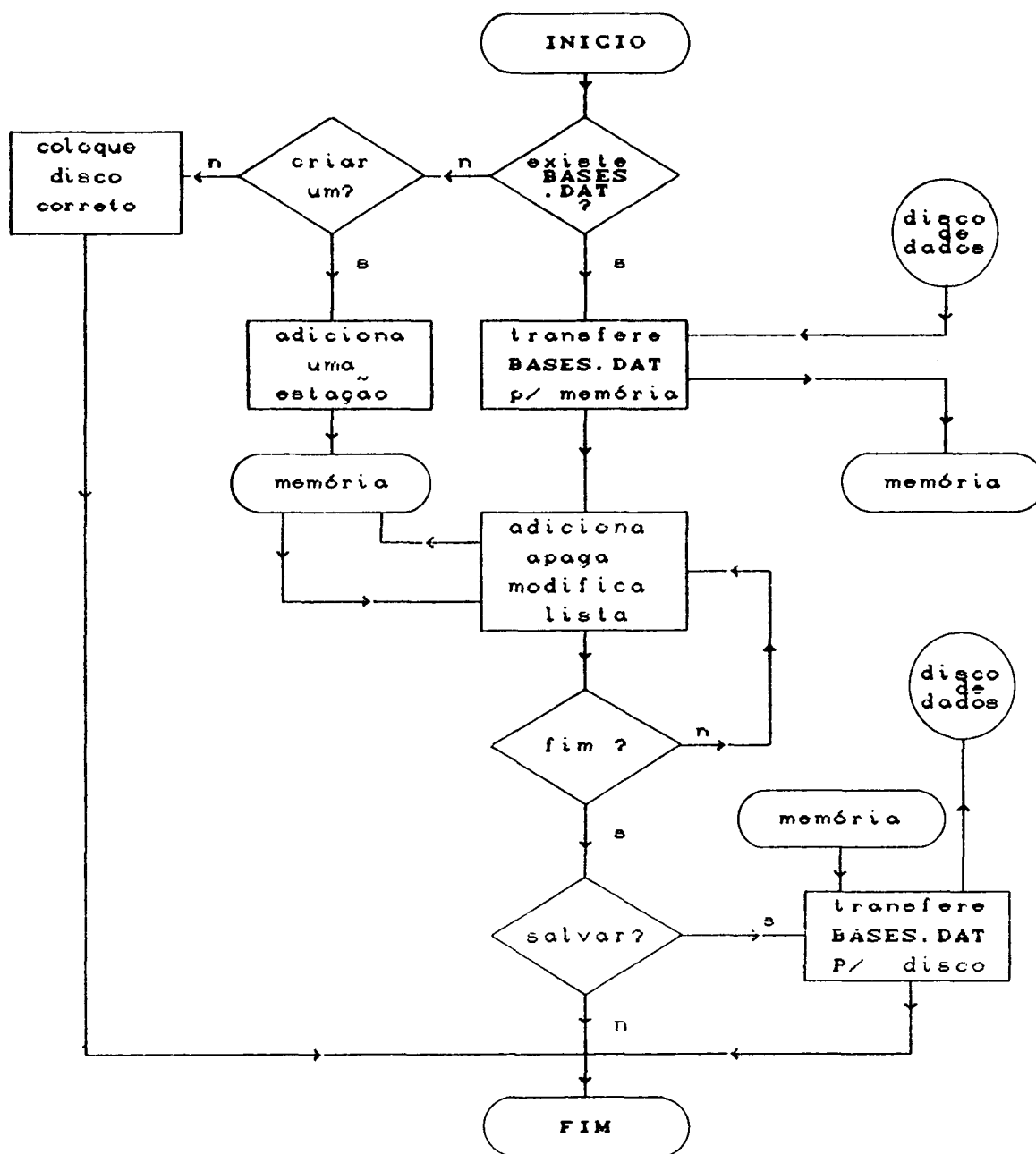


FIGURA 22 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA MKBASE.EXE

É recomendado pelo autor o uso deste programa para a criação do arquivo BASES.DAT uma vez que na geração a formatação correta esta prevista. Contudo não há objeção na utilização de algum editor de texto para esta finalidade.

#### 4.1.2. Criação ou Modificação do Arquivo de Instrumentos

A opção número 2 do menu principal do SPDG é destinada a criação ou modificação do arquivo de instrumentos. Pela concepção do sistema é possível utilizar-se mais de um instrumento numa mesma campanha de levantamento. Deste modo é necessário que no disquete de dados estejam os arquivos de instrumento para que o programa possa converter automaticamente os valores observados em unidade de gravímetro para o miligal. Nestes arquivos (um para cada instrumento) estão informações como o número identificador, a constante de escala, o intervalo entre as leituras de dial, o tipo de gravímetro utilizado e a sua tabela de calibração.

O programa responsável pela geração de tal arquivo é o MKINST.EXE que ao ser acionado, apresenta o seu menu de operação (fig. 23). Ao contrário do MKBASE, o programa não verifica a existência de arquivos de instrumento.

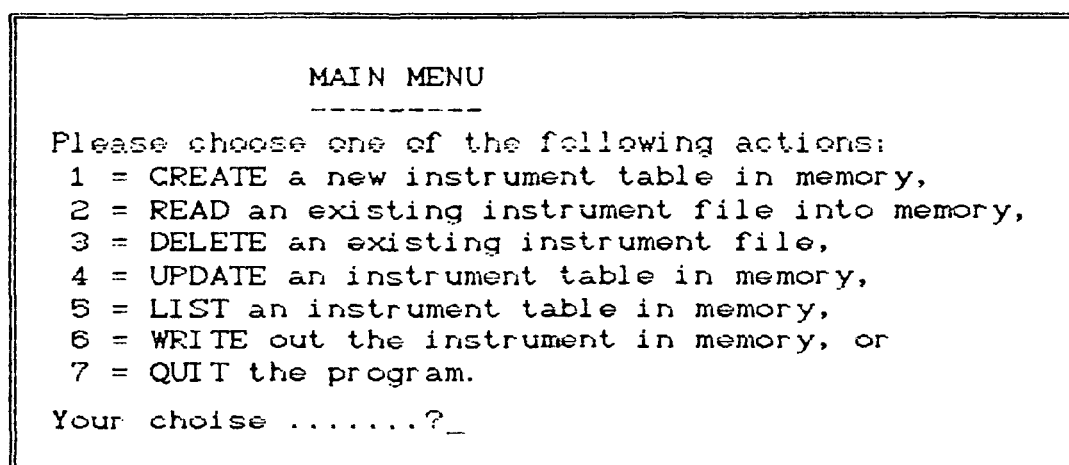


FIG. 23 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA MKINST.EXE



O menu deste programa apresenta 7 opções :

1ª - CREATE - tem a função de criar o arquivo. Ao ser acionada o programa pede o número do instrumento e a resposta deve ser o nome do arquivo. O nome obrigatoriamente é composto por quatro caracteres alfanuméricos como já mencionado anteriormente. Em seguida pergunta se o instrumento é um Lacoste. A razão desta pergunta reside no fato do programa fazer duas considerações quanto ao tipo de gravímetro :

- gravímetros cuja correspondência entre a sua escala e o respectivo valor em miligal é considerada como linear (WORDEN) . Neste caso o programa faz aplicação apenas da constante de escala.
- gravímetros cuja correspondência é não linear (Lacoste & Romberg). Neste caso o programa necessita da tabela de calibração.

Dada a resposta o programa pergunta a constante de escala, o valor inicial e o final de leitura do dial e o intervalo a ser adotado para a tabela. Os limites inferior e superior admitidos são 0 e 9900, e o incremento de default é 100. Todavia o programa só permite tabelas com no máximo 100 valores.

Se a resposta para a questão sobre o tipo de gravímetro foi < N > o processamento é encerrado caso contrário, o programa vai apresentando os valores de dial do limite inferior até o superior segundo o incremento escolhido e o usuário vai informando qual o valor em miligal correspondente ao fim do que, é encerrado o processamento.

2ª - READ - tem apenas a função de transportar o arquivo do disco de dados para a memória do computador. É necessário que o usuário conheça a priori os nomes dos arquivos que se encontram no disquetes, uma vez que o programa não possui o recurso de listar diretório.

3º - DELETE - tem a função de apagar um arquivo de instrumentos. É necessário também conhecer os nomes dos arquivos.

4º - UPDATE - tem a função de alterar qualquer valor do arquivo de instrumentos. Ao ser acionada, é apresentado um menu secundário (FIG 24). A opção 3 deste menu possibilita tanto a mudança de um valor da tabela como a introdução de mais termos, desde que não ultrapassando o limite de 100 valores e respeitando o intervalo dado. Para a introdução basta que o valor esteja fora do limite inferior ou superior. Em ambas as situações o programa verifica, a partir do novo valor, quantos registros existirão até o valor inicial ou final anterior.

5º - LIST - tem a função de mostrar na tela o conteúdo do arquivo de instrumentos.

6º - WRITE - tem a função de gravar no disquete de dados o arquivo de instrumentos que foi criado ou algum existente que tenha sido alterado.

7º - QUIT - tem a função de encerrar o processamento do programa. Se esta opção for utilizada antes de se ter gravado o arquivo no disquete o processamento anterior é perdido.

É recomendado pelo autor a utilização do programa MKINST para criação e modificação dos arquivos de instrumentos pela razão já exposta de se ter um arquivo com formatação adequada.

Na figura 25 pode-se ver o arquivo de instrumentos e na figura 26 o fluxograma do programa.

UPDATE MENU  
-----

Please choose one of the following actions:

- 1 = Change the type of instrument,
- 2 = Change the scale constant,
- 3 = Change the instrument table, or
- 4 = Return to the main menu.

[ Instrument G068 is in memory. ]

FIG. 24 - MENU SECUNDÁRIO DO PROGRAMA MKINST.EXE

Lacoste Instrument G068 - Scale factor 1.0001500 - Reading 1000 to 2000

Dial Rgd.	Milligal Value	Interval Factor
----	-----	-----
1000	1031.500	1.03170
1100	1134.670	1.03190
1200	1237.860	1.03200
1300	1341.060	1.03210
1400	1444.270	1.03220
1500	1547.490	1.03230
1600	1650.770	1.03200
1700	1753.970	1.03260
1800	1857.230	1.03270
1900	1960.500	1.03290
2000	2063.790	0.00000

Press <CR> to continue .....

FIG. 25 - ARQUIVO DO INSTRUMENTO G068.DAT

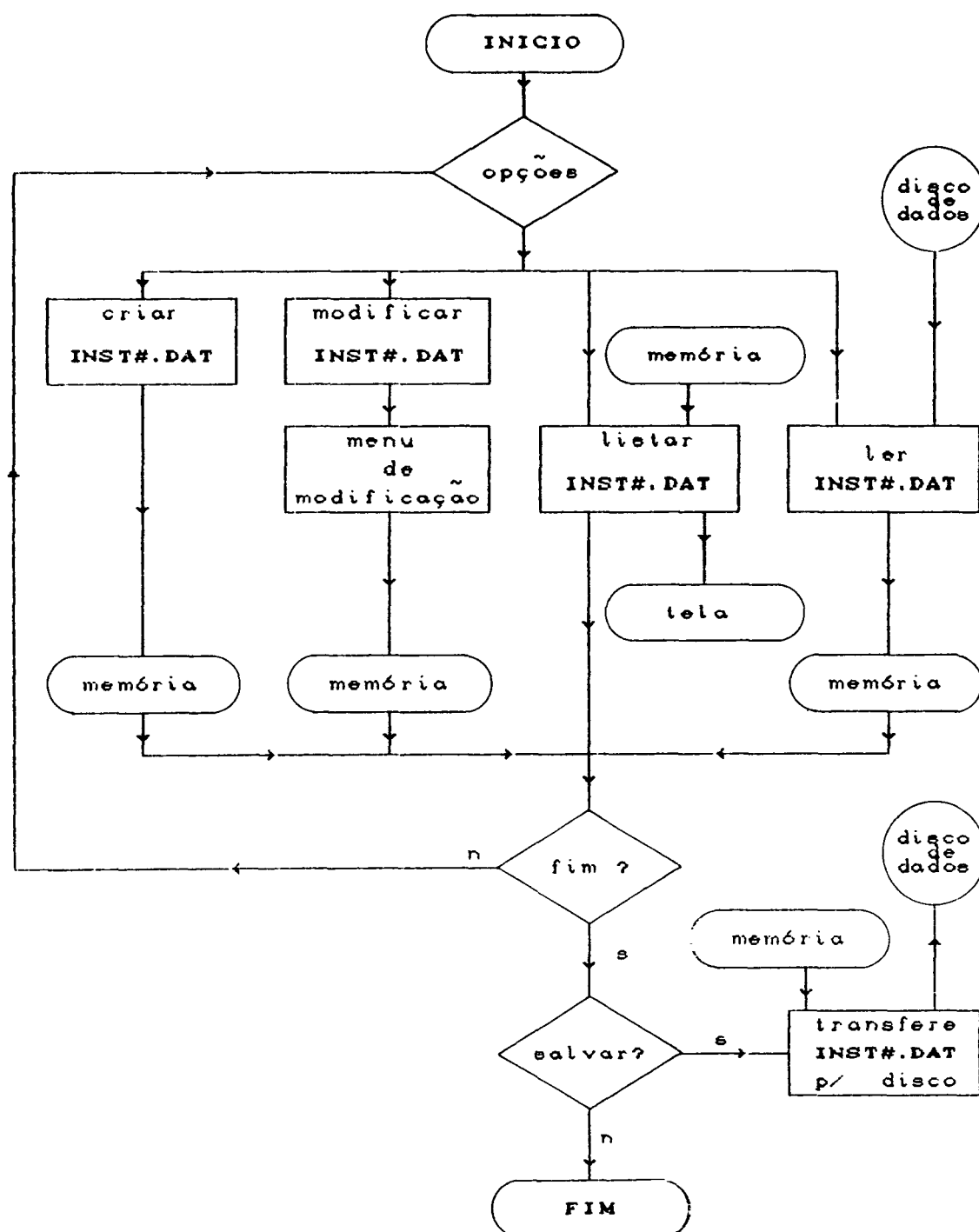


FIGURA 26 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA MKINST.EXE

#### 4.1.3. Entrada de Observações de Circuitos

A opção número 3 do menu principal do SPDG tem a finalidade de gerar os arquivos dos circuitos, bem como o de calcular o valor da gravidade e das anomalias de Free-air e de Bouguer.

A concepção deste processamento é baseada nos tradicionais métodos de levantamentos em forma de circuitos. Um circuito gravimétrico é definido por um caminhamento que partindo de uma estação de controle, onde o valor da gravidade é conhecido, e ocupando sucessivamente pontos onde se deseja determinar o valor da gravidade, retorna à origem decorrido um tempo determinado. Esse cuidado em retornar a origem é importante porque é a única forma de se poder corrigir as observações das derivas instrumentais, visto em 2.7.2.2. O programa que executa o processamento dos dados é o TRAVRED.EXE e segundo seu autor não possui a capacidade de corrigir as leituras da deriva estática. Deste modo é conveniente evitar paradas prolongadas dentro de um circuito.

Ao ser acionada essa opção o programa pergunta o nome do projeto. Esse nome deve identificar um conjunto de arquivos pertinentes a uma campanha de levantamento que é composta por circuitos individuais. O nome fornecido pode ser composto por no máximo oito (8) caracteres alfanuméricos. Fornecido o nome o programa verifica a existência do arquivo que contém as especificações que são comuns a todos os circuitos (PROJ#.SET). Esse arquivo é composto por vinte parâmetros que

podem se vistos na figura 27. Se esse arquivo não existir o programa começa a solicitar um conjunto de 20 quesitos que são comuns a todos os circuitos.

- 1 - Project PROJ#.
- 2 - Stations are assigned identifiers using the GSC system.
- 3 - Default display format is Free Air and Bouguer.
- 4 - Year of observation is 86.
- 5 - Hour of observation + 00 hours gives GMT.
- 6 - The coordinates are entered as degrees and decimal minutes.
- 7 - The quadrant is NW.
- 8 - The gravity survey is on land.
- 9 - Terrain corrections are not available.
- 10 - Reserved for future use.
- 11 - Elevation accuracy code is 3.
- 12 - Elevation source code is 1.
- 13 - Coordinate accuracy code is 3.
- 14 - Coordinate source code is 3.
- 15 - Detph accuracy is 0 percent.
- 16 - Detph source code is 0.
- 17 - Observed gravity accuracy code is 0.
- 18 - Terrain correction accuracy code is 0.
- 19 - terrain correction source code is 0.
- 20 - Reserved for future use.

FIG 27 - ARQUIVO PROJ#.SET

O segundo parâmetro da figura 27 informa ao programa que tipo de numeração que o usuário utilizou nos circuitos. O programa pode trabalhar com o sistema de numeração GSC (código de numeração adotado pelo "Geological Survey of Canada") ou outro sistemas qualquer. No sistema GSC os números entre 900000 a 999999 são reservados para identificar as estações de controle e os números de 1 a 899999 os pontos de detalhamento. Nesse sistema os dois últimos dígitos do número que indica as estações de controle corresponde ao ano em que foi determinado o valor da gravidade. Se não for adotado o sistema GSC o programa não tem como diferenciar uma estação de controle de um ponto de detalhamento. Assim o programa

interpreta que o primeiro e o último registro de um arquivo correspondem a estações de controle.

O terceiro parâmetro informa qual a saída escolhida pelo usuário. O programa possibilita três modos :

- 1<sup>o</sup> - Anomalias do Ar Livre e de Bouguer ;
- 2<sup>o</sup> - Valor da gravidade e anomalia do Ar Livre;
- 3<sup>o</sup> - Valor da gravidade e anomalia de Bouguer.

O autor do programa adverte que se forem escolhidas as opções 2 ou 3 o valor da gravidade aparece truncado na tela em função da formatação de saída, ou seja, o valor 980622,75 será mostrado como 622,75. Por outro lado o valor 978622,75 gera o mesmo valor de saída.

O quarto parâmetro informa o ano do levantamento. Quando perguntado o usuário deve responder apenas com a dezena.

O quinto parâmetro informa ao programa se o tempo registrado no levantamento foi em hora média de Greenwich. Se for respondido com o valor zero o programa subentende que sim.

O sexto parâmetro informa ao programa qual o tipo de entrada de coordenadas que será adotada pelo usuário. O programa estabelece três formas de entrada :

- 1<sup>a</sup> - Graus , minutos e décimos de minutos ;
- 2<sup>a</sup> - Graus , minutos e segundos ;
- 3<sup>a</sup> - UTM.

O sétimo parâmetro informa o quadrante onde se desenvolveu o levantamento. (NE, NW, SE, SW)

O oitavo parâmetro informa ao programa em que tipo superfície foi realizado o levantamento. O programa oferece cinco alternativas :

- 1<sup>a</sup> - Levantamento sobre terra ;
- 2<sup>a</sup> - Levantamento embarcado ;
- 3<sup>a</sup> - Levantamento sub-aquático ;
- 4<sup>a</sup> - Levantamentos em Geleiras ;
- 5<sup>a</sup> - Levantamento sobre o mar ou lago congelado.

Dependendo da opção escolhida é feita uma consideração diferente no cálculo das anomalias. É importante frizar que o programa calcula a anomalia de Bouguer e não a modificada de Bouguer, ou seja, ele calcula o efeito de um platô de área infinita e espessura  $h$  e não o efeito da calota (ver item 2.4.2). Estas considerações serão discutidas no próximo capítulo.

TABELA 2 - Código das Precisões

CÓDIGO	ALTITUDE	COORDENADAS	GRAVIDADE	CORREÇÃO DE TERRENO
0	desconhecida	desconhecida	desconhecida	desconhecida
1	0,01 m	1 "	0,01 mGal	10% do valor
2	0,03 m	10 " (1: 25000)	0,03 mGal	20% do valor
3	0,10 m	20 " (1: 50000)	0,10 mGal	30% do valor
4	0,30 m	50 " (1:125000)	0,50 mGal	
5	1,00 m	100 " (1:250000)	1,00 mGal	
6	3,00 m	200 " (1:500000)	3,00 mGal	
7	10,00 m	400 "	5,00 mGal	
8	30,00 m	1000 "	10,00 mGal	
9	>30,00 m	>1000 "	>10,00 mGal	



TABELA 3 - Código de Procedências

CÓDIGO	PROFUNDIDADE	ALTITUDE	COORDENADAS	CORREÇÃO DE TERRENO
0	desconhecida	desconhecida	desconhecida	desconhecida
1	pressure transducer	agência nacional	marco	método de
2			geodésico	Bible
			outros	método de
3	sonda acústica sondagem sísmica carta hidrográfica estimada	mapa topográfico sistema inercial agência militar empresas particulares estimada	marcos	Hammer
4			mapa	método do
5			topográfico	Prisma de Nagi
6			carta	Surface Fitted
7			hidrográfica	Cones
8			outros	
9			mapas	
A			astronomia	
B			levantamento	
C			Doppler	
D			Range Position	
E			System	
F			navegação	
G			por satélite	
H			Radar	
I			LORAN	
J			HIRAN	
K			SHORAN	
L			OMEGA	
M			DECCA	
N			HIFIX	
			MINIFIX	
			AERODIST	
			AUTOTAPE	
			fotogrametria	
			ACCUFIX	
			Sistema Inercial	

O nono parâmetro informa se a correção de terreno foi determinada. Se a resposta for sim o programa pede informações sobre a precisão (em %) e qual método utilizado para sua determinação (origem). Neste caso normalmente a precisão é de 2%. A resposta a essas perguntas tem de ser dada em forma de código. Os códigos encontram-se nas Tabelas 1 e 2. Se a resposta for não, o programa assume o valor zero para esse parâmetro.

Os parâmetros do décimo primeiro ao décimo nono informam ao programa a precisão e o modo com que foram determinadas a altitude, as coordenadas, a profundidade, as observações da gravidade e a correção de terreno, já mencionado acima. As respostas, como já dito, deve ser um dos códigos que se encontra nas Tabela 2 e 3.

Prepare to process a traverse:

- 1 = Enter data for a NEW traverse,
- 2 = Edit an Existing traverse,
- 3 = Compute an Existing traverse, or
- 4 = Exit from the program.

Your choice ..... ( <CR> gives        3) ?

FIG. 28 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA TRAVRED.EXE

Respondido esses itens o programa apresenta o menu da figura 28 onde o usuário tem a oportunidade de escolher entre quatro opções :

1ª - ENTER - possibilita a entrada das observações dos circuitos. Ao ser acionada o programa pergunta o número do circuito. A resposta pode ser um número de 1 a 999. Em seguida pede o nome do arquivo do instrumento utilizado naquele circuito, o número

identificador da estação, o mês, dia, hora e minuto da observação, a leitura no dial, o número da caderneta de campo, a altitude de referência (altitude da estação), a altura acima do nível de referência, a altura do instrumento. Se o usuário adotou o sistema de numeração GSC é listado pelo programa os dados de entrada e perguntado se eles estão corretos. Se a resposta for afirmativa o programa reinicia a sequência pelo nome da estação. Nesse ponto é possível listar os vinte parâmetros respondendo a pergunta sobre o nome da estação com o caracter < ^ >. Ao listar os parâmetros o programa pergunta se o usuário gostaria de fazer alguma modificação. Para isto basta responder afirmativamente e logo em seguida dar o número do parâmetro. Em seguida a modificação o programa pergunta se há mais a serem feitas. Se for respondido não o programa volta a perguntar o nome da estação e, após passar todos os itens descritos acima, pede as coordenadas da estação segundo um dos critérios pré estabelecidos anteriormente ( $\phi, \lambda$  ou UTM). Esse processo é repetido até entrar a última observação.

2º - EDIT - possibilita ao usuário editar um arquivo de observações existente. Ao ser acionada o programa pergunta o nome do projeto identificador e logo em seguida o número do circuito que se deseja editar. Após esta instrução o programa mostra o arquivo na tela e fica aguardando os comandos de edição. Os comandos de edição são :

- F<sub>n</sub> - move n linhas para o fim do arquivo;
- B<sub>n</sub> - move n linhas para o começo do arquivo;
- I<sub>n</sub> - insere linha numero n;
- D<sub>n</sub> - apaga linha n;
- E<sub>n</sub> - mudança na linha n;
- T<sub>n</sub> - move a linha n para o centro da tela;
- Q - finaliza a edição sem salvar as mudanças;

- X - finaliza a edição salvando as mudanças;  
H - comando de ajuda (lista os comandos de edição)

```

-----
Editing file : B:85109.001                                     Press H for HELP
-----
001
1 001 G025
002
2911485 0518 1350 3981.540 10 0.000 00 85
003
3780 0520 0503 4036.550 10 0.000 0.000 0.000 44 56.09 065 54.77 NW
004
4 93.8 3 0.00 1 1 85 00 1 3 1 0 5 7 2 9 2 3 3 0 0 0
005
3737 0520 0742 4039.280 10 0.000 0.000 0.000 44 48.75 065 55.00 NW
006
4 103.0 3 0.00 1 1 85 00 1 3 1 0 5 7 2 9 2 3 3 0 0 0
007
3735 0520 0850 4049.640 10 0.000 0.000 0.000 44 41.26 065 55.01 NW
008
4 85.8 3 0.00 1 1 85 00 1 3 1 0 5 7 2 9 2 3 3 0 0 0

. . . . .

5910185 0522 0235 3917.350 19 0.000 00 85

-----

Command?_
-----

```

FIG. 29 - ARQUIVO DE UM CIRCUITO EDITADO PELO TRAVRED.EXE

O arquivo mostrado na tela (FIG. 29) tem diferentes tipos de registros (1, 2, 3, 4 e 5) :

- 1 - Esse registro é o primeiro de cada circuito e mostra o seu número e o nome do instrumento utilizado.

```

.....5.....10.....5
1 001 G025

```

COLUNA 1 = tipo de registro.  
COLUNA 2-5 = número do circuito  
COLUNA 7-10 = instrumento utilizado no circuito.

2 - Este registro é o segundo de cada circuito e mostra os parâmetros da estação de controle inicial

```

.....5.....1.....5.....2.....5.....3.....5.....4.....5.....5
2911485 0518 1350 3981.540 10 0.000 00 85

```

COLUNA 1 = tipo de registro.  
 COLUNA 2-7 = número identificador da est. controle.  
 COLUNA 9-10 = mês em GMT  
 COLUNA 11-12 = dia do mês em GMT.  
 COLUNA 14-15 = hora do dia em GMT.  
 COLUNA 16-17 = minutos da hora GMT.  
 COLUNA 19-26 = leitura no DIAL do instrumento  
 COLUNA 28-29 = número da caderneta de campo.  
 COLUNA 31-36 = altura do instrumento acima do terreno em m.  
 COLUNA 38-39 = hora para GMT. Normalmente igual a zero.  
 COLUNA 41-42 = ano da observação

3 - Este registro é o primeiro de um par que mostra os parâmetros de uma estação de detalhamento.

```

.....5.....1.....5.....2.....5.....3.....5.....4.....5.....
3736 0520 0503 4036.550 10 0.000 0.000

```

```

.....5.....6.....7.....8
.0.....5.....0.....5.....0.....5.....0
0.000 44 56.59 065 54.77 NW

```

COLUNA 1 = tipo de registro.  
 COLUNA 2-7 = n. identificador da est. detalhamento  
 COLUNA 9-10 = mês em GMT  
 COLUNA 11-12 = dia do mês em GMT.  
 COLUNA 14-15 = hora do dia em GMT.  
 COLUNA 16-17 = minutos da hora GMT.  
 COLUNA 19-26 = leitura no DIAL do instrumento  
 COLUNA 28-29 = número da caderneta de campo.  
 COLUNA 31-36 = altitude da superfície de referência em m. Normalmente igual a zero.  
 COLUNA 40-46 = cota (se alt. sup. ref. 0 = altitude)  
 COLUNA 48-53 = altura do instrumento acima do chão  
 COLUNA 55-79 = coordenadas da estação.

```

          LAT.      LONG.
TIPO 1 - GG MM.MM GGG MM.MM QQ
TIPO 2 - GG MM SS.S GGG MM SS.S QQ
          N        E        F
TIPO 3 - NNNNNNNN. EEEEEEE. FF QQ

```

- 4 - Este registro é o segundo de um par que mostra os parâmetros de uma estação de detalhamento.

```

      ....5....10....5....20....5....30....5....40....5....50
      4      93.8 3      0.00 1 1 85 00 1 3 1 0 5 7 2 9 2 3 3
                                     ....5....60
                                     0 0 0

```

COLUNA 1 = tipo de registro.  
 COLUNA 3-8 = profundidade da água em m.  
 COLUNA 10 = tipo de determinação de profundidade..  
 COLUNA 12-17 = correção de terreno em mGal.  
 COLUNA 19 = tipo de numeração (GSC ou outra).  
 COLUNA 21 = tipo de saída na tela ( $\Delta g_f$   $\Delta g_B$  g).  
 COLUNA 23-24 = ano da observação.  
 COLUNA 26-27 = horas GMT.  
 COLUNA 29 = tipo de coordenada geográfica.  
 COLUNA 31 = tipo de levantamento.  
 COLUNA 33 = marca para a correção de terreno.  
 COLUNA 35 = reservado para uso futuro.  
 COLUNA 37 = código da precisão da altitude.  
 COLUNA 39 = código da procedência da altitude.  
 COLUNA 41 = código da precisão das coordenadas.  
 COLUNA 43 = código da procedência das coordenadas.  
 COLUNA 45 = código da precisão da profundidade.  
 COLUNA 47 = código da procedência da profundidade.  
 COLUNA 49 = código da precisão da observação grav.  
 COLUNA 51 = código da precisão da cor. terreno.  
 COLUNA 53 = código da procedência da cor. terreno.  
 COLUNA 55 = reservado para uso futuro.

- 5 - Este registro é o último de cada circuito e mostra os parâmetros da última estação de controle. O tipo de formatação é igual ao do registro tipo 2.

3ª - COMPUTE - possibilita ao usuário o cálculo de uma circuito individual. Ao ser acionada o programa pergunta novamente qual a saída (Ar Livre + Bouguer, Gravidade + Ar Livre ou Gravidade + Bouguer).

Escolhida uma das três opções o programa calcula e mostra na tela o circuito .(FIG. 30)

Traverse # 1 Instrument # G790 K = 1.000789 Drift = -0.0031 Mgal/hour Stn # Date Time Reading Elev. Latitude Longitude Q. Depth T FreeAir Bouguer -----											
917573	0528	1402	4241.94								WEST POINT
2501	0528	1403	4241.94	1.0	46	37.24	64	23.26	NW	0.0	1 -5.53 -5.64
2502	0528	1441	4239.44	14.7	46	39.39	64	24.50	NW	0.0	1 -7.06 -8.71
2503	0528	1458	4242.02	12.2	46	38.51	64	19.16	NW	0.0	1 -3.88 -5.25
2504	0528	1513	4243.28	11.3	46	38.80	64	16.06	NW	0.0	1 -3.31 -4.57
2513	0528	1844	4246.38	29.2	46	43.85	64	12.93	NW	0.0	1 -2.17 -5.43
917573	0528	1921	4241.83								WEST POINT
Press (CR) to continue .....											

FIG. 30 - CIRCUITO CALCULADO PELO PROGRAMA TRAVRED.EXE

4º -- EXIT - Encerra o processamento.

O fluxograma do programa TRAVRED.EXE pode ser visto na figura 31.

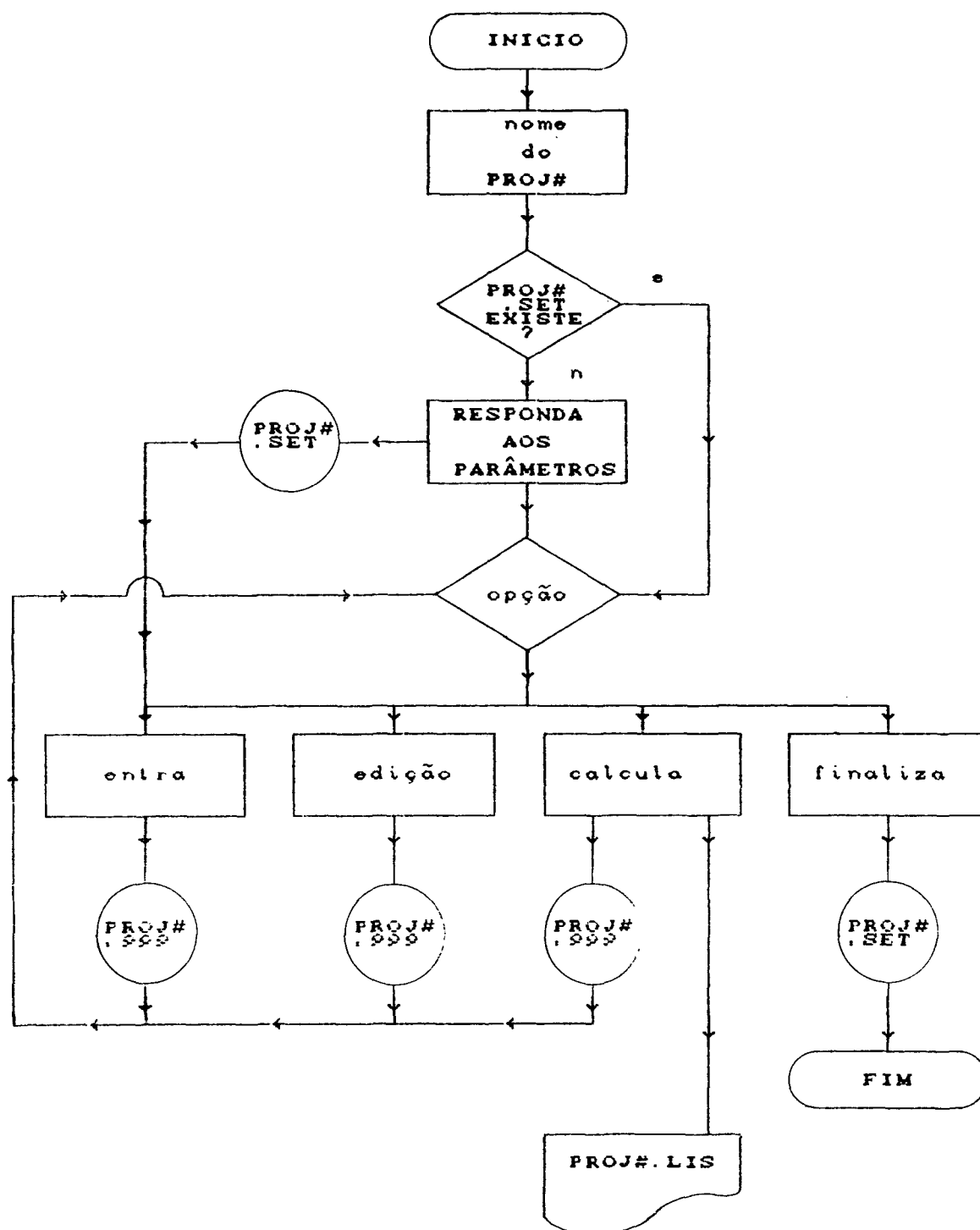


FIGURA 31 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA TRAVRED.EXE



#### 4.1.4. Cálculo dos Circuitos

A opção número 4 do menu principal do SPDG tem a finalidade de reunir todos os circuitos de um projeto em um único arquivo que contém os principais dados de cada ponto. Este processamento é realizado pelo programa MKPFACTS.EXE que lê os arquivos dos circuitos (número máximo de 100 arquivos de circuitos por projeto), extraíndo as informações relevantes e calculando novamente as anomalias do Ar Livre e de Bouguer pelo mesmo algoritmo do programa TRAVRED.EXE. Este programa gera um arquivo de saída denominado PROJ#.OUT e um outro arquivo, o PROJ#.LIS, que é idêntico ao primeiro mas que pode ser listado na impressora.

A formatação desse arquivo é a seguinte

Na primeira linha aparecem as informações sobre o nome do projeto e quando foram feitos os cálculos.

```

.....5.....1.....5.....2.....5.....3.....5.....4.....5.....5.....5.....6
Project 85109      computed on 87/10/19 at 09:44:19.87

```

Nas linhas subseqüentes as informações dos circuitos. Cada circuito ocupa duas linhas. A primeira linha :

```

.....5.....1.....5.....2.....5.....3.....5.....4.....5.....5.....5.....6
85109      738      140 0509 002 5 N44 5 6.0900 W005 54.770 0 2

                                ..6.....5.....7.....5.....8
                                .00 5 93.8 3 5

```

COLUNA 1-8 = nome do projeto.  
COLUNA 9-14 = estação identificadora.

COLUNA 16-18 = dia juliano.  
 COLUNA 20-21 = horas.  
 COLUNA 22-23 = minutos.  
 COLUNA 25-26 = instrumento identificador.  
 COLUNA 30 = letra que indica o hemisfério.  
 COLUNA 31-32 = latitude - graus.  
 COLUNA 34-40 = latitude - minutos e decimos.  
 COLUNA 42 = letra que indica se o ponto esta a leste ou oeste de Greenwich.  
 COLUNA 43-45 = longitude - graus.  
 COLUNA 47-53 = longitude - minutos e decimos.  
 COLUNA 55 = código da precisão das coordenadas.  
 COLUNA 57-64 = altitude.  
 COLUNA 67 = código de precisão da altitude.  
 COLUNA 69-74 = profundidade da água ou espessura do gelo.  
 COLUNA 67 = código de procedência da profundidade.  
 COLUNA 78 = código de precisão da profundidade.

Na segunda linha :

.....<sup>1</sup>.....<sup>2</sup>.....<sup>3</sup>.....<sup>4</sup>.....<sup>5</sup>.....<sup>6</sup>  
 .....5.....0.....5.....0.....5.....0.....5.....0.....5.....0  
 .00 .00 980620.52 3 .0 0 -13.48 4 -7.03 4

COLUNA 1-7 = ajuste da gravidade observada (lev. marítimos)  
 COLUNA 9-14 = correção de Eolvos (lev. marítimos)  
 COLUNA 16-24 = valor da gravidade.  
 COLUNA 26 = código de precisão da gravidade.  
 COLUNA 28-32 = correção de terreno.  
 COLUNA 34 = código de precisão da cor. terreno.  
 COLUNA 36-42 = anomalia do Ar Livre.  
 COLUNA 45 = código de precisão da anomalia do Ar Livre.  
 COLUNA 47-53 = anomalia de Bouguer.  
 COLUNA 55 = código de precisão da anomalia de Bouguer.

#### 4.1.5. Entrada das Observações de uma Rede.

A opção número 5 do menu principal do SPDG possibilita a entrada das observações feitas em uma rede gravimétrica. Nesse processamento são calculadas as diferenças

de gravidade entre os pontos da rede, diferença essa identificada pelo programa como "TIES", com a finalidade de gerar o arquivo PROJ#.OBS que é utilizado no ajustamento da rede. (opção 7).

O processamento é feito pelo programa TIEPROC.EXE. que necessita dos arquivos BASES.DAT e INST#.DAT para poder extrair os valores aproximados da gravidade e interpolar as leituras de dial para o miligal.

Ao ser acionado, o programa pede o nome do projeto identificador (PROJ#). Este nome, como já explicado anteriormente pode ter no máximo oito caracteres alfanuméricos. Escolhido o nome o programa cria um arquivo chamado TIEPROC.LIS, onde são registrados todos os cálculos executados pelo programa. Se no disquete de dados existir um arquivo com esse nome, será apagado para dar lugar ao novo. A seguir é verificada a existência de um arquivo de extensão OBS e que tenha o nome igual ao escolhido. Se for constatada a existência, imediatamente o programa faz uma cópia do arquivo (PROJ#.BAK). Se o arquivo não existir o programa avisa o usuário e pergunta se é um novo projeto. No caso de não ser um projeto novo, a resposta deve ser não, e neste caso, o programa torna a perguntar o nome do projeto. Se for confirmado que é um projeto novo o programa abre então o arquivo.

A seguir é pedido, sequencialmente pelo programa, uma série de informações que podem ser vistas na figura 32.

A segunda pergunta do menu visto na figura 32 só é feita se o arquivo não existir, como comentado acima.

```

CONTROL STATION OBSERVATION ENTRY PROGRAM
FORTRAN 77 VERSION OF JANUARY, 1987

Project .....?_PROJ92
Is this a New project? ..... (Yes, No, or Quit) ?_Y
Year of observation?_92
Hours to GMT .....?_0
Agency code .....?_20
Enter site corrections ..... (Yes, No, or Quit) ?_N
Station ID/SEP/END ?_917473
Month .....?_5
Day .....?_24
Hour .....?_12
Minute .....?_38
Instrument .....?_G431
Dial reading .....?_4272.34
Field book # .....?_1
Page # .....?_1
Transport code ....?_1

```

FIG. 32 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA TIEPROC.EXE.

O código da instituição é uma informação complementar sem efeito sobre os cálculos e pode variar de 1 a 999. Por exemplo o código 20 significa que a instituição que realizou o levantamento foi a "Geophysics Division of the Geological Survey of Canada".

A correção de terreno pedida só deve ser levada em conta quando tiver significância no levantamento gravimétrico uma vez que ela esta na ordem do microgal. Essa correção é devido a modificações locais motivadas pela variação do nível do mar, lagos ou rios ou outros fenômenos semelhantes. No caso dela ser relevante o usuário deve responder sim e informar qual a correção quando for pedido.

A pergunta sobre a estação identificadora pode receber três resposta :

- 1 - número identificador da estação de controle.
- 2 - SET ;
- 3 - END .

Ao ser respondida com o número identificador o programa verifica a sua existência no arquivo BASES.DAT. Esse procedimento é necessário porque para o ajustamento são necessários valores aproximados da gravidade e o programa busca estes valores naquele arquivo. Se a estação indicada não constar do arquivo o programa avisa o usuário e pede a confirmação. Se for confirmada o programa segue adiante, caso contrário torna a pedir o número da estação.

Se for respondido com "SET" o programa entende que o usuário não quer que seja calculada a diferença de gravidade entre a última estação e a subsequente. Na sequência o programa volta a pedir o número identificador da estação .

Se for respondido com "END" o programa entende que a entrada de dados esta encerrada.

Na questão sobre o instrumento, similarmente ao da estação, o programa verifica a existência do arquivo do instrumento indicado . Se o arquivo não existir o programa avisa e pede a confirmação do nome do arquivo. Caso afirmativo o programa segue adiante. No caso da negativa o programa torna a pedir o nome do arquivo de instrumento.

Na questão sobre a leitura no dial, se a resposta estiver fora da tabela existente no arquivo de instrumento o programa informa e pede confirmação do valor. Se for confirmado o programa segue adiante mais não tem condição de transformar as leituras de dial em miligal.

O código de transporte pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 - Código dos Meios de Transporte.

código	meio de transporte
1	automóvel em estrada não pavimentada;
2	automóvel em estrada pavimentada;
3	trem;
4	helicótero;
5	aeronave com um propulsor;
6	aeronave com mais de um propulsor;
7	aeronave a jato;
8	barco;
9	A pé;
10	desconhecido.

O programa após essa última questão lista os valores de entrada e pede a confirmação da exatidão das informações (FIG. 33).

Station .....	917473
Month/day .....	05/24
Hour:minute .....	12:38
Instrument .....	6431
Dial reading .....	4272.34
Field book, page ..	1, 1
Transport code ....	1
Agency code .....	20
Is this observation correct	(Yes, No, or Quit) ?_Y

FIG. 33 - DADOS DE ENTRADA DA ESTAÇÃO DE CONTROLE 917473 MOSTRADOS NA TELA PELO PROGRAMA TIEPROC.EXE.

Se for confirmado o programa grava essas informações no arquivo PROJ#.OBS ,ao passo que se não for, o programa ignora essa entrada de dados.

Após a confirmação ou não o programa retorna a perguntar o número identificador da estação de controle, e o ciclo recomeça.

A cada duas estações o programa determina a diferença de gravidade entre elas ("TIES") e mostra na tela, como pode ser visto na figura 34 .

Instrument G431 with scale constant 1.0008600											
Base #	Date	Time	DelT	Dial	rdg.	ETC	SiteC	Corr	rdg	DelR*K	Resid
917473	05/24	12:38		4272.340	0.014	0.000	4511.829	SUMMERSIDE			
			1.45					26.063	26.086	-0.014	
917573	05/24	14:05		4296.920	0.088	0.000	4537.893	WEST POINT			

FIG. 34 - DETERMINAÇÃO DAS DIFERENÇAS DE GRAVIDADE ENTRE DUAS ESTAÇÕES PELO PROGRAMA TIEPROC.EXE.

O programa ainda calcula as seguintes diferenças que podem ser vistas na figura 34 :

- Delt ( $\Delta T$ ) - intervalo de tempo entre as estações;  
(na figura 1.45)
- DelR - diferença das leituras de dial corrigidas entre as estações; (na figura 26.063)
- DelR\*k - diferença das leituras em miligal entre as estações; (na figura 26.086)

RESID - diferença em miligals entre o valor observado e o valor calculado a partir dos valores conhecidos da gravidade. Se a diferença medida for menor que a calculada o programa mostra o resíduo com sinal negativo ao passo que na situação oposta, com o sinal positivo. (na figura -0.014)

Durante o processamento só nos seguintes casos não há determinação de diferença de gravidade :

- a - as duas entradas subsequentes são da mesma estação;
- b - as duas estações subsequentes foram observadas com instrumentos diferentes;
- c - a entrada das observações esta fora da ordem cronológica do levantamento;
- d - o intervalo de tempo entre duas estações é maior que 30 horas;
- e - uma das estações de controle não consta do arquivo BASES.DAT;
- f - um dos arquivos de instrumento de uma das estações não existe.

Ao encerrar-se a entrada dos dados com a instrução END o programa pergunta se o usuário quer editar o arquivo. Se for respondido sim o programa utilizando-se do mesmo editor do programa TRAVRED.EXE mostra o arquivo na tela para edição. Caso contrário o programa salva o arquivo PROJ#.OBS no disquete de dados e encerra o processamento.



O formato do arquivo PROJ#.OBS é o seguinte :

```

.....5.....10.....5.....20.....5.....30.....5.....40.....5.....50.....5.....60.
A 917473 86/05/24 12:38 0431 4272.340 0.000 11 1 2 20 0

```

```

.....60.....5.....70.....5.....80
1 SUMMERSIDE

```

- COLUNA 1 = A para ativo, D para desativado;
- COLUNA 3-8 = número identificador da estação de controle;
- COLUNA 10-17 = data da observação ( ano/mês/ano );
- COLUNA 19-23 = hora da observação ( hora:minuto );
- COLUNA 25-28 = nome do arquivo de instrumento;
- COLUNA 30-37 = leitura do dial;
- COLUNA 39-44 = correção de terreno;
- COLUNA 46-47 = número da caderneta de campo;
- COLUNA 49-50 = número da página da caderneta de campo;
- COLUNA 52 = código do meio de transporte;
- COLUNA 54-56 = código da instituição que fez o levantamento;
- COLUNA 58-59 = diferença de horas para GMT;
- COLUNA 61 = código de controle de entrada de observações;
- 0 - continuação da sequência de observações;
  - 1 - interrupção da sequência pedida pelo usuário;
  - 2 - estação de controle não está no arquivo;
  - 3 - não existe arquivo de instrumentos;
  - 4 - leitura do dial fora dos limites da tabela;
  - 5 - estação de controle repetida;
  - 6 - mudança de instrumento;
  - 7 - intervalo de tempo maior que 30 horas;
  - 8 - intervalo de tempo negativo.
- COLUNA 63-82 = nome da da estação de controle.

O fluxograma do programa TIEPROC.EXE pode ser visto na figura 35 .

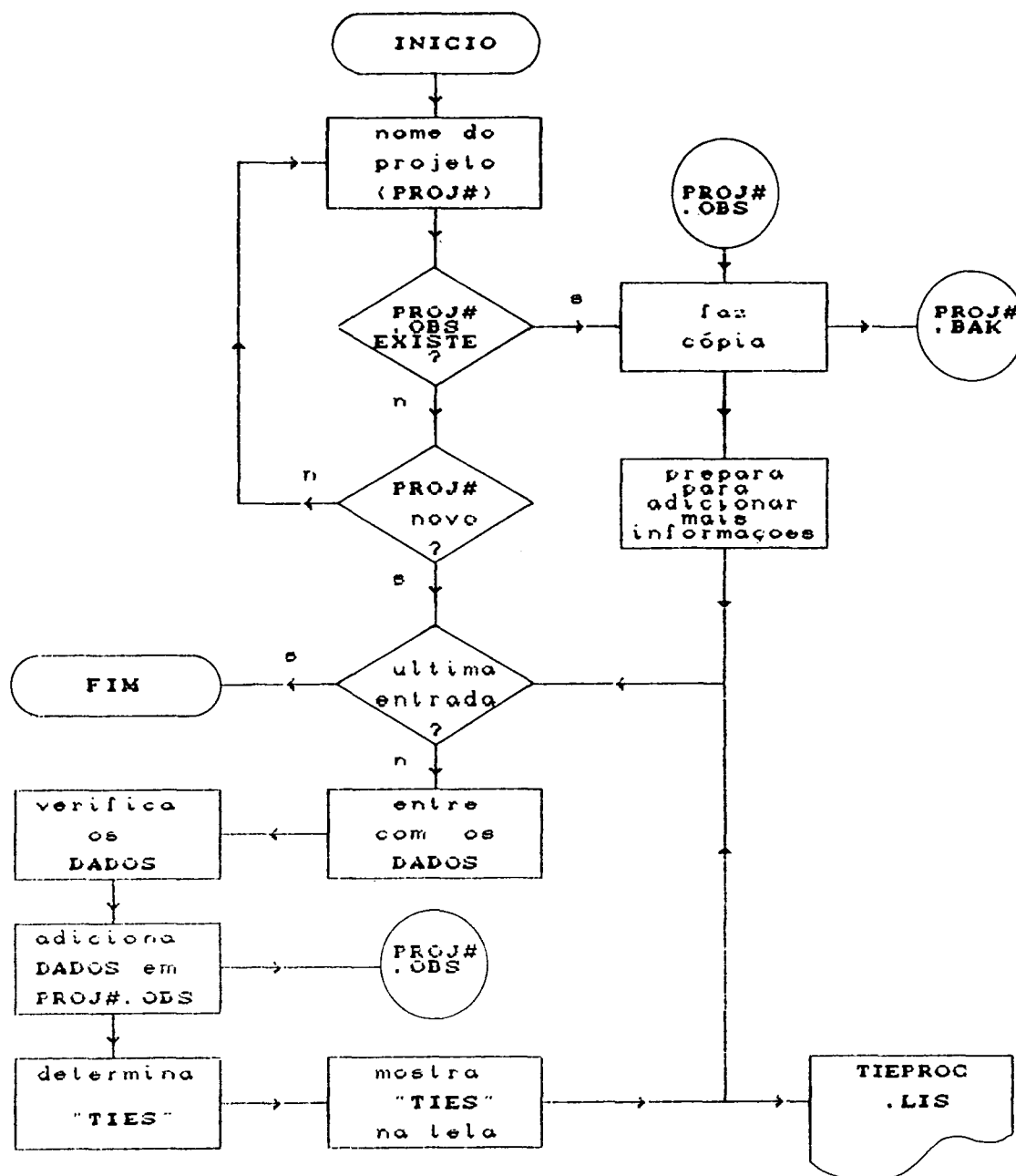


FIG. 35 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA TIEPROC.EXE

#### 4.1.6. Cálculo das diferenças de gravidade em uma rede.

A opção número 6 do menu principal do SPDG possibilita o cálculo inicial da gravidade para novas estações de controle como também calcula as diferenças de gravidade entre as estações. Estes dados são necessários ao ajustamento de observações de uma rede gravimétrica.

O processamento é feito pelo programa TIEFORM.EXE que utiliza o mesmo algoritmo de verificação de dados do programa TIEPROC.EXE. É necessário porém que o usuário tenha criado o arquivo PROJ#.OBS anteriormente.

Ao ser acionada a opção o programa pergunta o nome do projeto. Ao ser respondido, imediatamente o programa passa a ler os dados do arquivo PROJ#.OBS. Se alguma estação de controle não for encontrada no arquivo BASES.DAT, o programa avisa com a seguinte mensagem :

"ERROR-- 999999 is not on the file of control station"

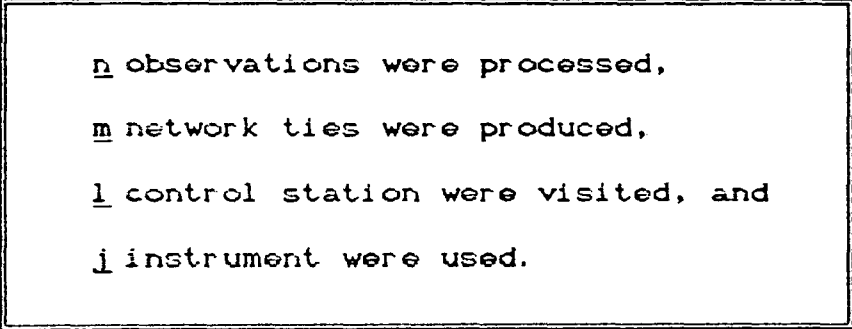
Em seguida lê o registro da próxima estação e a partir desses dados, calcula um valor inicial da gravidade a estação e retorna com a mensagem :

"The following control stations were not on the file called B:BASES.DAT :999999 - the gravity value was computed as 980716.538."

A medida que o programa vai lendo e determinando as

diferenças de gravidade, vai gerando um arquivo denominado PROJ#.TIE onde essas diferenças são registradas. Esse arquivo é posteriormente no ajustamento.

Após ler todos os dados, o programa mostra na tela algumas informações que podem ser vistas na figura 36.



```
n observations were processed,  
m network ties were produced,  
l control station were visited, and  
i instrument were used.
```

FIG. 36 - INFORMAÇÕES FINAIS DO PROGRAMA TIEFORM.EXE

A seguir o programa pergunta se o usuário deseja criar um arquivo de especificações para o ajustamento. Se a resposta for afirmativa o programa cria dois arquivos, o PROJ#.SPC e o PROJ#.ORG. Os dois arquivos são idênticos porém o primeiro é utilizado no ajustamento e alterado por ele. O segundo serve como cópia de segurança das especificações originais, caso haja algum problema no ajustamento.

Nesse programa se o arquivo de instrumentos não existir no disquete de dados é assumido que as leituras de dial estão em miligal e que a constante de escala é igual a um (1). No caso de alguma estação de controle não se encontrar no arquivo BASES.DAT, o programa calcula um valor da gravidade inicial a partir das observações, porém nesse caso ele registra a diferença no arquivo PROJ#.TIE.

É gerado pelo programa um arquivo chamado TIEFORM.LIS que similarmente ao TIEPROC.LIS registra todos os cálculos executados pelo programa TIEPROC.EXE.

O fluxo do programa TIEFORM.EXE pode ser visto na figura 37.

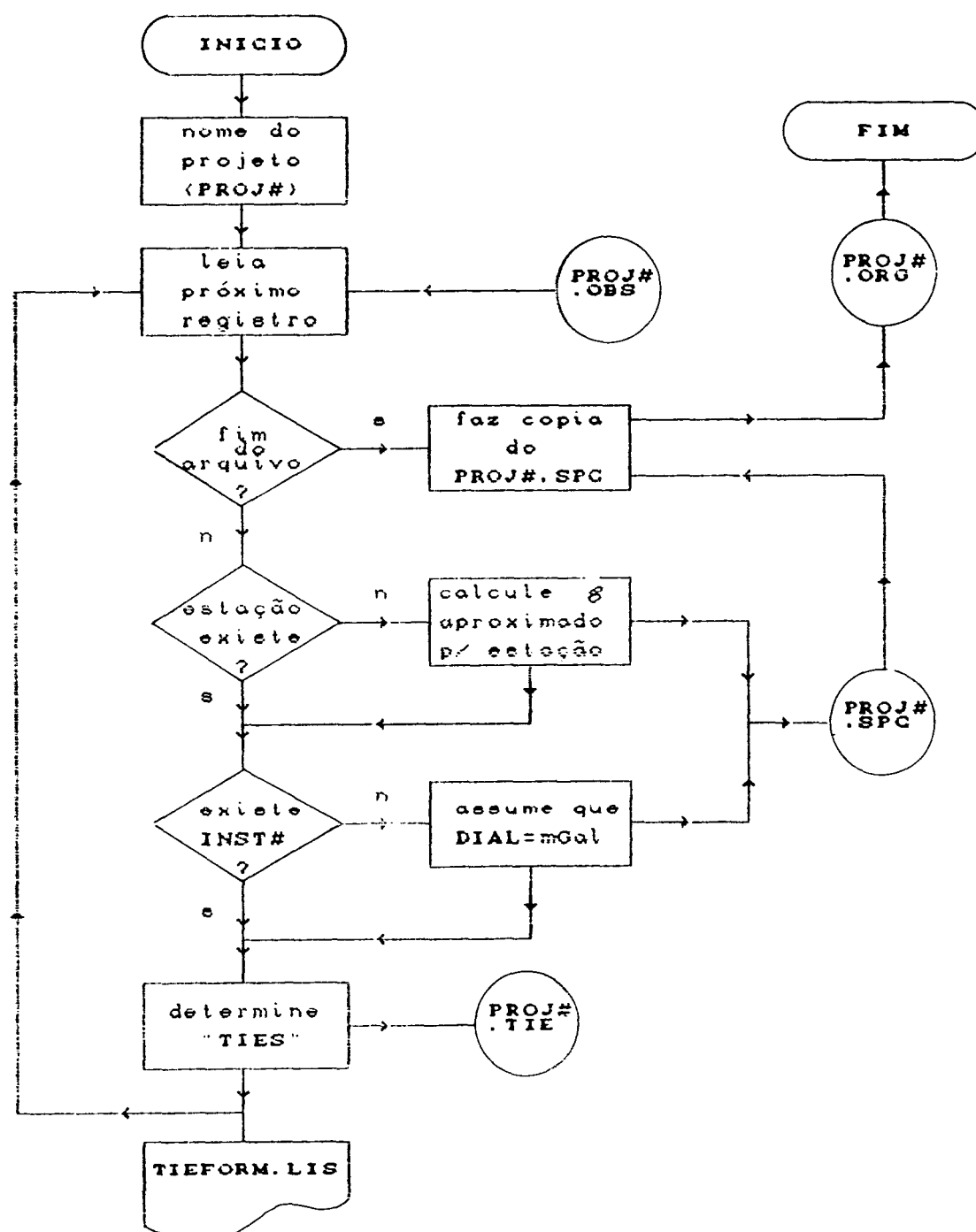


FIG. 37 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA TIEFORM.EXE

#### 4.1.7. Ajustamento da Rede Gravimétrica.

A opção número 7 do menu principal do SPDG possibilita o ajustamento de uma rede gravimétrica pelo método dos mínimos quadrados.

Este processamento é feito por um conjunto de quatro programas :

1 - FORMAT.EXE - este programa lê o arquivo de especificações gerado pelo programa TIEFORM.EXE (PROJ#.SPC), converte os dados para outro formato e gera um arquivo temporário denominado FIXEDFMT.TMP. A seguir o programa verifica se todos os dados deste arquivo estão formatados corretamente e se o número de pontos e instrumentos não excede a capacidade máxima de processamento (200). Este programa também gera o arquivo PROGRAM1.LIS onde o processamento é gravado, o que possibilita a saída via impressora, usando um utilitário do próprio sistema. Se algum parâmetro estiver errado o programa apaga o arquivo temporário e lista as mensagens de erro no arquivo de saída (PROGRAM1.LIS).

2 - EDITOR.EXE - este programa lê o arquivo FIXEDFMT.TMP e faz uma verificação cruzada entre os dados para verificar a consistência deles. A seguir lê o arquivo PROJ#.TIE, criado pelo programa TIEFORM.EXE, e gera uma indexação para as variáveis, calcula os resíduos para cada observação baseado nos valores iniciais, marca as observações cujos resíduos estão fora da tolerância, cria um arquivo com as diferenças de gravidade indexadas denominado INDEXTIE.TMP e por último cria um arquivo com os contadores, índices e vetores chamado LINKFILE.TMP. Todo o processamento é registrado num arquivo chamado PROGRAM2.LIS. Este programa na verdade gera o sistema

de equações normais que será utilizado no ajustamento.

3 - A solução do sistema de equações normais pode ser realizada por um dos dois programas :

- MATRIX.EXE - solução por inversão matricial;
- SEIDEL.EXE - solução por Gauss-Seidel.

No primeiro caso como a inversão da matriz gera a matriz variância-covariância, têm-se a estimativa de precisão das variáveis. Se houver uma inconcistência no sistema devido a mal formação da rede, o programa MATRIX.EXE aborta o processamento. O programa SEIDEL.EXE, nessa situação, embora não aborte, não converge ou se convergir leva a resultados absurdos. Para qualquer um dos programas, os arquivos de entrada são o LINKFILE.TMP e o INDEXTIE.TMP. Os programas geram o arquivo PROGRAM3.LIS que contém informações sobre o processamento e o arquivo SOLUTION.TMP que contém a solução do sistema.

4 - STATS.EXE - este programa lê os arquivos LINKFILE.TMP e o SOLUTION.TMP e aplica a solução sobre os valores iniciais. A seguir lê o arquivo de indexação, INDEXTIE.TMP e lista as observações e os resíduos calculados pelo ajustamento no arquivo PROGRAM4.LIS. Também são listadas nesse arquivo as análises estatísticas do ajustamento. Por último o programa altera o arquivo de especificações (PROJ#.SPC) que poderá ser utilizado no próximo ciclo de ajustamento.

Para que o ajustamento possa ser realizado, é necessário que sejam estabelecidas algumas injunções iniciais como a fixação de um DATUM e de uma escala. No programa existe dois modos de se fazer isso:

- 1 - fixando o valor da gravidade de uma estação e a constante de escala de um instrumento:
- 2 - fixando o valor da gravidade de duas estações.

No primeiro caso, a fixação de  $g$  estabelece o DATUM e a fixação da constante de escala a escala do levantamento. No segundo caso a primeira estação estabelece o DATUM e a diferença de gravidade entre as duas a escala do levantamento.

Essas injunções são dadas ao sistema através do arquivo de especificações. Nesse arquivo alguns registros chaves devem ser usadas para que o programa possa interpretar corretamente a intenção do usuário. Os registros chaves são :

1 - TRIAL GVALUE est# g

- est# - número identificador da estação;
- g - valor da gravidade.

Ex.: TRIAL GVALUE 906379 980425.71

2 - TRIAL SCALE inst# ce

- inst# - nome do arquivo de instrumento;
- ce - constante de escala do instrumento.

EX.: TRIAL SCALE G074 1.00036

3 - TRIAL DRIFT inst# der

- der - valor da deriva instrumental padrão em mGal/h

Ex.: TRIAL DRIFT G074 0.05

4 - TRIAL DRIFTSEG inst# di df seg# der

- di e df - a data e hora inicial e final de um período onde o instrumento apresentava uma determinada deriva instrumental; (CAAMMDD.HHMM)



- seg# - um número entre 1 e 999 que serve para indicar o período.

EX.: TRIAL DRIFTSEG G074 810617.0845 810702.1643 63 0.05

O registro significa que o instrumento G074 apresentava uma deriva instrumental da ordem de 0,05 mGal/hora no período compreendido entre as 08:45 horas do dia 17 de junho de 1981 e as 16:43 horas do dia 02 de junho de 1981.

Este tipo de registro é importante quando por algum motivo a deriva instrumental de um determinado instrumento mudou de valor durante um levantamento.

#### 5 - TRIAL DRIFT ALL

Este registro pode ser utilizado no início do ajustamento e informa ao programa que todos os instrumentos tem deriva igual a zero.

#### 6 - WEIGHT GVALUE est# peso

WEIGHT SCALE inst# peso

WEIGHT DRIFT inst# peso

WEIGHT DRIFTSEG inst# seg# peso

WEIGHT TIES inst# peso

WEIGHTFIX GVALUE est# peso

WEIGHTFIX SCALE inst# peso

WEIGHTFIX DRIFT inst# peso

WEIGHTFIX DRIFTSEG inst# seg# peso

WEIGHTFIX TIES inst# peso

Estes registros indicam ao sistema de ajustamento quais os pesos que devem ser dados aos valores da gravidade, a constante de escala do instrumento, a deriva instrumental e a diferença de gravidade entre as estações ("TIES"). O primeiro conjunto de registros é utilizado para dar peso as variáveis que serão determinadas pelo ajustamento. O segundo grupo fixa o peso das quantidades fixas no ajustamento. Por "default" o peso para a diferença de gravidade é 400 porque deriva de um desvio padrão de 0,05 mGal.

```

7 - FIX GVALUE ent#
    FIX SCALE inst#
    FIX DRIFT inst#
    FIX DRIFTSEG inst# seg#

```

Estes registros fixam o valor da gravidade de uma estação, a constante de escala e a deriva de um determinado instrumento. Pode-se fixar todas as variáveis usando os registros:

```

FIX GVALUE ALL
FIX SCALE ALL
FIX DRIFT ALL
FIX DRIFTSEG ALL

```

```

8 - ADJUST GVALUE est#
    ADJUST SCALE inst#
    ADJUST DRIFT inst#
    ADJUST DRIFTSEG inst#

```

Este registros indicam ao sistema de ajustamento quais as variáveis que devem ser ajustadas. Esses comandos tem o efeito oposto dos anteriores.

Quando se tem muitas variáveis e se deseja ajustar apenas algumas, deve-se inicialmente fixar todas e depois com a instrução ADJUST escolher as de interesse.

```

Ex.:  FIX GVALUE ALL
      FIX SCALE ALL
      FIX DRIFT ALL
      ADJUST GVALUE 906378
      ADJUST GVALUE 906478
      ADJUST SCALE 6074
      ADJUST DRIFT 6074

```

# 9 - TITLE qualquer texto

Este registro permite se escrever textos com no máximo 74 caracteres no topo das páginas das listagens do ajustamento.

## 10 - REJECT nsigma deltat

- nsigma - é o limite de rejeição expresso em múltiplos do erro padrão esperado para uma unidade de peso.
- deltat - é o maior intervalo de tempo admissível entre duas observações.

EX.: REJECT 3.0 30.0

## 11 - PERFORM pgnnome, pgnnome, ....

- pgnnome - é o nome de um programa do ajustamento.

Este registro informa ao sistema qual(is) o(s) programa(s) que será(ão) executado(s). Se a instrução for omitida somente o programa FORMAT.EXE será executado.

Ex.: PERFORM FORMAT, EDITOR, SEIDEL, STATISTICS

## 12 -LIST pgnnome resid

- resid - é o valor do residuo em mGal.

Este registro informa ao sistema quais as observações que deverão ser listadas pelos programas EDITOR e STATISTICS. As observações que tiverem seus resíduos maiores que o indicado (resid) serão listadas.

EX.. LIST EDITOR 5.0  
LIST STATISTICS 5.0

### 13 - SPECIFY palavrachave valor

- palavrachave - é uma palavra que especifica uma opção.
- valor - é o valor para a opção.

Este registro especifica ao sistema um valor para uma determinada opção.

OPÇÃO (palavrachave)	valor de "default"
ERROR	1.0E-6
OFFSET	0.0
HISTOGRAM	0.0
CLASSWIDTH	0.4
TIEWEIGHT	400.0
WEIGHT	0.001

A opção ERROR indica ao sistema de ajustamento qual o valor de convergência para o programa Seidel parar o processamento.

A opção OFFSET indica um valor que deve ser somado a todos os valores de gravidade, exceto naqueles fixados. Esta opção em conjunto com o programa SEIDEL pode detectar uma conexão imprópria na rede. Isso é verificado quando numa rede muito complexa algumas estações não se conectam com outras e ao ser adicionado um valor em g, no final estas estações se destacam.

A opção HISTOGRAM indica ao sistema que deve(m) ser feito(s) o(s) histograma(s) do(s) equipamento(s). O valor 0.0 não tem significado.

A opção CLASSWIDTH indica a largura de uma unidade do histograma. Normalmente essa unidade é equivalente a um desvio padrão.

A opção TIEWEIGHT indica ao sistema de ajustamento o peso que deve ser dado as diferenças de gravidade observadas.

A opção WEIGHT indica ao sistema de ajustamento qual o peso que deve ser dado para assegurar uma escala adequada para o vetor diagonal das precisões.

14 - END

Este registro indica ao sistema que o arquivo de especificações acabou.

Na figura 38 é apresentado o arquivo de especificações original de uma ajustamento (86116.ORG) e na figura 39 o arquivo de especificações depois de um ciclo de ajustamento (86116.SPC).

```
TRIAL GVALUE 917473 980733.7400 ; SUMMERSIDE
TRIAL GVALUE 917573 980759.8400 ; WEST POIT
TRIAL GVALUE 917673 980783.5100 ; TIGNISH
TRIAL SCALE 6431 1.000860
FIX GVALUE 917473
FIX GVALUE 917673
PERFORM FORMAT EDITOR MATRIX STATISTICS
REJECT 3 30.0
LIST EDITOR 0.5
LIST STATISTICS 0.5
TITLE ADJUSTMENT OF PROJECT 86116
END
```

FIG 38 - ARQUIVO 86116.ORG

```

TITLE      ADJUSTMENT OF PROJECT 86116
TRIAL GVALUE      917473 980733.7400 ; SUMMERSIDE
TRIAL GVALUE      917573 980759.8719 ; WEST POIT
TRIAL GVALUE      917673 980783.5100 ; TIGNISH
TRIAL SCALE G431      1.000860
FIX GVALUE      917473
FIX GVALUE      917673
WEIGHT      TIES G431      400
REJECT      3.0000      30.0000
LIST EDIT      .5000
LIST STATISTICS      .5000
SPECIFY ERROR =      .000000010
SPECIFY OFFSET =      .000000
SPECIFY TIEWEIGHT =      400.000
SPECIFY HISTOGRAM =      .0000000
SPECIFY CLASSWIDTH =      .4000000
END

```

FIG. 39 - ARQUIVO 86116.SPC

O fluxograma do sistema de ajustamento pode ser visto na figura 40.

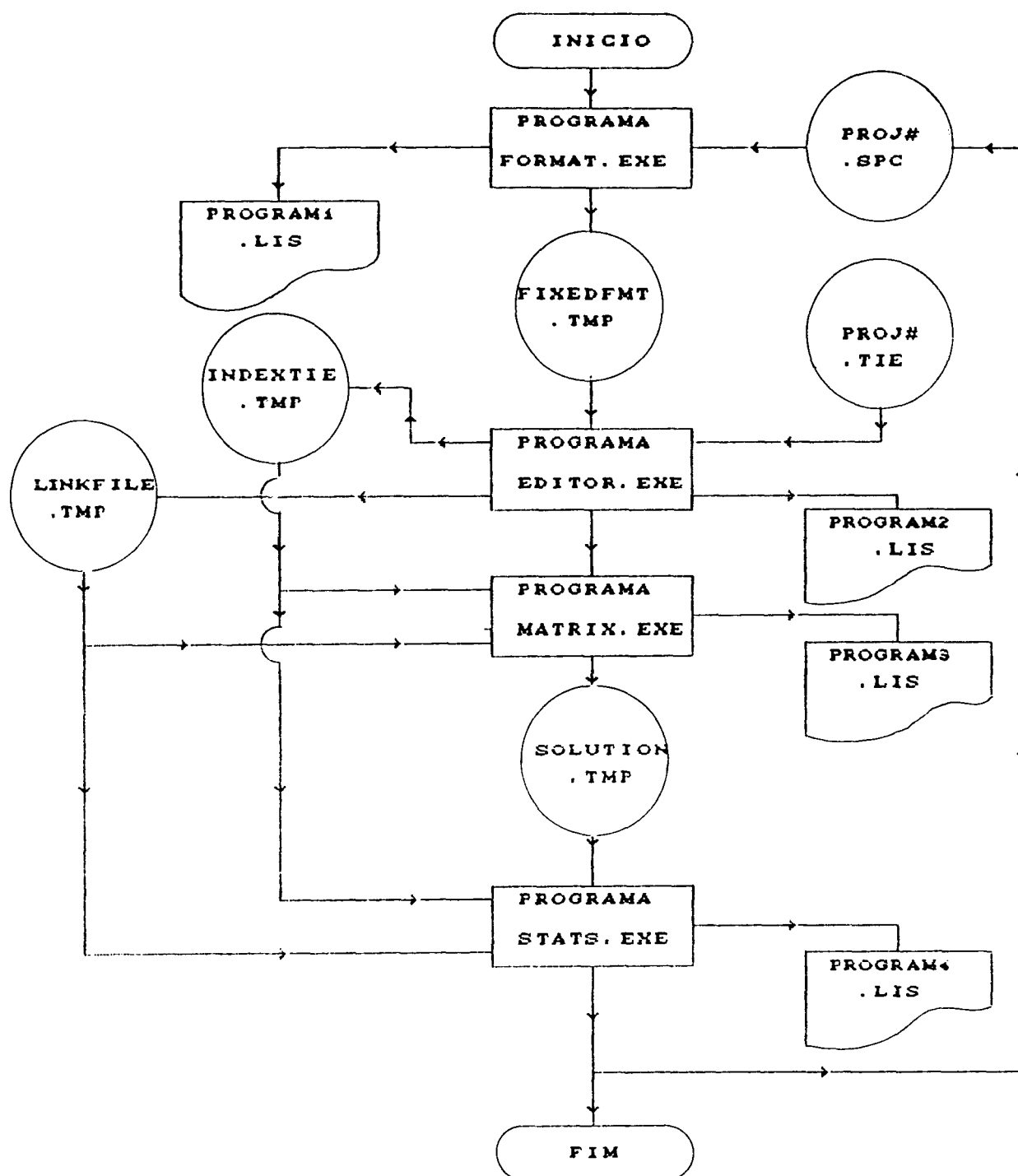


FIG. 40 - FLUXOGRAMA DO SISTEMA DE AJUSTAMENTO.

#### 4.1.8. Saída de Arquivos via Impressora ou via Tela.

A opção número 8 do menu principal do SPDG possibilita que o usuário liste qualquer arquivo via impressora. O programa que faz este processamento é o LIST.EXE cuja fonte foi escrita em linguagem BASIC.

Ao ser acionada a opção, o programa pergunta o nome do arquivo a ser listado. Se o usuário não lembrar o nome do arquivo, pode responder com o diretório e um letra qualquer. O programa então dá uma mensagem de erro avisando que o arquivo não existe e mostra o diretório. A seguir pede novamente o nome do arquivo. Ao responder-se corretamente a pergunta, imediatamente a impressora começa a listar o arquivo pedido.

A opção número 9 do menu principal do SPDG possibilita que o usuário possa visualizar os arquivos de na tela do computador. O programa que faz o processamento é o SHOW.EXE ,e também teve seu fonte escrito em BASIC. O processamento é identico ao anterior porém a saída passa a ser a tela e não a impressora.

#### 4.1.9. Cálculo da Correção de Maré.

A opção número 10 do menu principal do SPDG permite que o usuário calcule a correção de maré para uma determinada localidade. O processamento é realizado pelo programa TIDES.EXE que calcula as correções utilizando-se das fórmulas de Longman.



Ao ser acionado o programa pergunta sobre o formato de entrada da coordenadas do local. Escolhido o formato é pedido o nome do local e as suas coordenadas. Na sequência são pedidos o ano, o mês e o dia inicial e final para os quais se deseja a correção. Finalmente o programa mostra os dados de entrada e pede a confirmação. Ao ser confirmado o programa começa a calcular as correções para cada dez minutos e vai registrando na tela e em um arquivo chamado TIDES.LIS.

Na figura 41 é mostrado o menu de operação do programa TIDES.EXE e na figura 42 o arquivo TIDES.LIS.

```

EARTH TIDES COMPUTATION PROGRAM
FORTRAN 77 VERSION OF MAY, 1987

Prepare to enter your type of coordinates:
  1 = Degrees and decimal minutes,
  2 = Degrees, minutes and seconds, or
  3 = UTM northing, easting and zone.
Your choice .....?_1

Name of place for earth tides? OTTAWA, ONTARIO
Lat. degrees .....?_45
Lat. dec. minutes ?_1.2
Long. degrees .....?_75
Long. dec. minutes ?_10.3
Quadrant .....?_NW
Starting year .....?_88
Starting month ....?_6
Starting day .....?_2
Ending year .....?_88
Ending month .....?_6
Ending day          ?_4

You have requested earth tides for a place called OTTAWA,
ONTARIO At latitude, longitude 45 1.20, 075 10.30 NW
Starting on JUN 02, 1988 and ending on JUN 04, 1988

Is this correct? ..... (Yes, No, or Quit) ?_Y

```

FIG. 41 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA TIDES.EXE

Earth tide corrections for a place called OTTAWA, ONTARIO At latitude, longitude 45 1.20, 075 10.30 NW									
YR	MON	DAY	HOUR	+00	+10	+20	+30	+40	+50
88	06	02	00	-0.062	-0.066	-0.071	-0.074	-0.078	-0.081
88	06	02	01	-0.064	-0.066	-0.068	-0.090	-0.091	-0.091
88	06	02	02	-0.092	-0.093	-0.093	-0.092	-0.092	-0.091
.....									
88	06	04	21	0.107	0.104	0.102	0.098	0.095	0.091
88	06	04	22	0.087	0.083	0.078	0.073	0.067	0.062
88	06	04	23	0.056	0.050	0.044	0.038	0.032	0.026

FIG. 42 - ARQUIVO TIDES.LIS

#### 4.2. Processamento do SPDG

Como dito no início do capítulo, o SPDG pode ser operado ou pelo RUN2DISK.BAT, ou pelo programa RUNHD.BAT. O primeiro modo é destinado a computadores que possuem duas unidades de disco flexível, e o segundo para aqueles que possuem disco rígido. Normalmente computadores com disco rígido possuem apenas uma unidade de disco flexível que é definida como unidade A. Todavia o SPDG, por concepção, procura sempre os dados na unidade B. Em alguns sistemas operacionais, embora não existindo a unidade B no computador, quando pedida, é interpretado que  $B = A$ . Contudo, outros sistemas não fazem essa interpretação e para contornar o problema basta, antes de executar o programa dar a seguinte instrução :

"ASSIGN B = A"

O SPDG foi concebido para trabalhar em ambiente MS-DOS 3.1 e dependendo da versão do sistema operacional residente no computador não há compatibilidade e o SPDG "trava". Para contornar esse problema é conveniente usar o próprio sistema operacional que o acompanha .

Um último alerta diz respeito ao fato do sistema não funcionar em equipamento da ITAUTEC independentemente do sistema operacional adotado.

Após estes cuidados basta chamar o sistema com a instrução <RUN2DISK> ou <RUNHD> conforme o caso e escolher as opções do menu principal do SPDG.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS, IMPLEMENTAÇÃO E CONCLUSÃO

### 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se analisar os programas fontes do SPDG é verificado que trata-se de um sistema complexo, onde foram utilizados todos os recursos do FORTRAN77, com várias rotinas de checagem de dados, não dando margem a entrada de dados errados ou conflitantes. O sistema possibilita que o usuário possa processar dados de diferentes tipos de levantamentos gravimétricos ( terrestres, marítimos, subaquáticos ) e fazer diferentes considerações no ajustamento.

No cálculo das anomalias, conforme comentado no item 4.1.3, o sistema faz considerações diferentes dependendo do tipo de levantamento. Na questão da anomalia do ar livre, o sistema parte da fórmula clássica para levantamentos terrestres ( fórmula 2.17 ).

$$\Delta g_F = g_P + \frac{\delta g}{\delta h} h - \gamma_{P_0} \quad (5.1)$$

Se o levantamento for subaquático, inicialmente tem que ser eliminado o efeito da massa d'água acima do gravímetro sobre seus mecanismos internos. Isso é feito pela correção :

$$+ 2\pi k \rho_w d \quad (5.2)$$

onde : k - constante gravitacional de Newton;  
 $\rho_w$  - densidade da água;  
d - profundidade da lâmina d'água.

A seguir é feita a redução da gravidade do fundo para a superfície :

$$- \frac{\delta g}{\delta h} d \quad (5.3)$$

e finalmente é calculado o efeito produzido pela massa d'água na anomalia :

$$+ 2\pi k \rho_w d \quad (5.4)$$

Somando-se tudo chega-se a:

$$\Delta g_F = g_P + 4\pi k \rho_w d + \frac{\delta g}{\delta h} (h - d) - \gamma_{P_0}' \quad (5.5)$$

Quanto a anomalia de Bouguer, como dito anteriormente (item 4.1.3), o programa não calcula a anomalia modificada de Bouguer. Ele parte da formulação 2.25 e desconsidera o termo de Bullard.

$$\Delta g_B = g_P + \frac{\delta g}{\delta h} h - 2\pi k \rho h + C - \gamma_{P_0}' \quad (5.6)$$

Similarmente a situação anterior, o programa primeiro elimina o efeito produzido pela massa d'água e substitui pelo efeito de uma massa de rocha de mesmo volume.

$$- 2\pi k \rho_w d + 2\pi k \rho d \quad (5.7)$$

Combinando esses termos com a fórmula (5.6), vem:

$$\Delta g_B = g_P + \frac{\delta g}{\delta h} h - 2\pi k \rho (h - d) - 2\pi k \rho_w d + C - \gamma_{P_0} \quad (5.8)$$

Partindo dessas formulações e fazendo variar  $\rho$ ,  $h$  e  $d$ , o programa realiza todos os cálculos de anomalia conforme a escolha do usuário.

A formulação utilizada para cálculo da gravidade normal pelo programa é a Fórmula Internacional da Gravidade de 1967 ( fórmula 2.15).

A correção de terreno é considerada igual a zero quando o seu valor não é fornecido.

Quanto a questão do ajustamento, o sistema faz vários tipos de processamentos conforme a escolha do usuário. Dos vários tipos, dois podem ser destacados :

a - calibração de instrumento - basta que o usuário fixe o valor da gravidade de todos os pontos. Deste modo apenas os parâmetros do gravímetro são ajustados.

b - Novas estações de controle - basta que o usuário fixe o valor das outras estações.

Quanto as considerações matemáticas feitas pelo

sistema, o SPDG parte da seguinte equação de observação :

$$\sqrt{P_m} (g_i - g_j - K_p R_{ij} - d_p T_{ij}) = \varepsilon_{ij} \quad (5.9)$$

onde :  $P_m$  - é o peso da m-ésima observação;  
 $g_i$  - é o valor da gravidade da i-ésima estação;  
 $g_j$  - é o valor da gravidade da j-ésima estação;  
 $K_p$  - é uma correção para a constante de escala de um p-ésimo instrumento;  
 $R_{ij}$  - é a diferença da gravidade observada entre as i-ésima e j-ésima estações;  
 $d_p$  - é a deriva padrão do p-ésimo instrumento;  
 $T_{ij}$  - é o intervalo de tempo entre as determinações da gravidade entre a i-ésima e j-ésima estações.

Que resulta num sistema de equações. Ao serem introduzidas as observações o sistema torna-se inconsistente. A solução é dada pela aplicação do método dos mínimos quadrados. (ver Gemael<sup>/05/</sup>).

O programa possibilita ao usuário a escolha de duas formas de resolução do sistema de equações normais.

O primeiro método utiliza o algoritmo iterativo de Gauss-Seidel. Este algoritmo é muito difundido e sua formulação pode ser encontrada em várias publicações. Neste trabalho foram consultados Gemael<sup>/03/</sup>, Wandresen<sup>/15/</sup> e Woluheck<sup>/16/</sup>.

O segundo método utiliza a inversão matricial. Constatou-se que o programa utiliza o algoritmo de Choleski para inversão. A vantagem em se inverter a matriz normal dos

coeficientes esta em que a própria inversa é a matriz variância-covariância dos parâmetros a menos de um fator de escala ( $\hat{\sigma}_0^2$ ).

$$\Sigma_{X_a} = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} \quad (5.10)$$

A partir da inversa é possível ainda obter-se a matriz variância-covariância das observações ajustadas

$$\Sigma_{L_a} = \hat{\sigma}_0^2 A N^{-1} A^T \quad (5.11)$$

Tanto um método como outro resolvem o sistema, porém o primeiro com ônus para o desempenho. Em Nazareno<sup>/10/</sup> é feito um estudo dos principais algoritmos de resolução de equações normais. Deste pode-se extrair da tabela 1 as equações representativas do esforço computacional dos métodos de Choleski e Gauss-Seidel respectivamente :

$$\frac{n(n+8)(n+1)}{6} - n \quad \text{e} \quad n(2n+1) K^{GS}$$

onde : n - número de incógnitas

$K^{GS}$  - iterações do método de Gauss-Seidel

Em Wandresen<sup>/15/</sup>, verifica-se que a resolução de um dado sistema de equações de dimensão  $12 \times 12$  pelo método de



Gauss-Seidel precisa em média de 100 iterações. Fazendo-se os cálculos, constata-se que o método de Choleski faz 508 operações de multiplicação e divisão, contra 30.000 do método de Gauss-Seidel. Este resultado é esperado, principalmente porque o método de Choleski é um método direto, além de ser aquele que apresenta o melhor desempenho entre todos. (ver TAB. 2 em Nazareno<sup>10</sup>)

Deste modo embora o SPDG possua duas possibilidades de resolução, a primeira só deve ser usada quando do ajustamento preliminar, uma vez que, se houver alguma inconsistência no sistema o programa não aborta e isso pode ser útil na detecção do problema.

Um outro aspecto importante do SPDG é o fato dele gerar um histograma do(s) instrumento(s) utilizado(s) no levantamento. Isto é útil para verificar as condições do equipamento bem como a confiabilidade das medidas feitas por ele(s).

Feitas estas considerações, pode-se afirmar que o SPDG está otimizado com respeito ao ajustamento, não havendo a necessidade de implementações neste particular.

## 5.2 IMPLEMENTAÇÃO

Embora a estrutura do SPDG não mereça alterações significativas, pensou-se em dotá-lo de recurso gráfico. Isso foi feito com a aplicação do programa ISOLINE.EXE, disponível

no Laboratório de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, que gera isolinhas a partir de um conjunto de dados do tipo X, Y e Z.

Em função de existirem programas comerciais de desenho (CAD), optou-se pela utilização deles para fazer a edição final do mapa de contorno, uma vez que a gama de recursos que eles possuem é muito grande.

Para essa finalidade, após analisar os arquivos de saída do SPDG, verificou-se que apenas o arquivo PROJ#.OUT teria os elementos necessários, ou seja, além dos valores das variáveis  $h$ ,  $g$ ,  $\Delta g_F$  e  $\Delta g_B$ , a posição espacial delas ( $\phi$ ,  $\lambda$ ).

Assim, gerou-se um programa chamado ISOLINE1.EXE, em linguagem FORTRAN 77, que lê o arquivo PROJ#.OUT e extrai os elementos necessários para uma das quatro opções de geração de mapas de contorno implementadas, conforme pode ser vista na figura 43.

QUAL O NOME DO ARQUIVO DE ENTRADA ? 86116.OUT

TIPO DE MAPAS DE ISOLINHAS GERADOS :

- (1) - CURVAS DE NIVEL ;
- (2) - ISOLINHAS DA GRAVIDADE;
- (3) - ISOANOMALIAS DE FREE-AIR;
- (4) - ISOANOMALIAS DE BOUGUER.

QUAL A SUA OPCAO ? (1,2,3 OU 4)

FIG. 43 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA ISOLINE1.EXE

Escolhida uma dessas opções, o programa transforma as coordenadas das estações do sistema geodésico para o UTM e gera um arquivo denominado ISO.TMP, onde são gravados os dados de saída conforme o mapa de isolinhas escolhido. Esse arquivo é lido pelo programa ISOLINE.EXE.

O programa ISOLINE.EXE, cujo fonte é escrito em linguagem BASIC, ao ser acionado mostra na tela as coordenadas Z mínima e Z máxima, e pede ao usuário para escolher a cota mínima e a equidistância entre as isolinhas. Ao se responder essas questões, o programa passa a interpolar as curvas. O cálculo é feito pela técnica de paracionamento em triângulos e pesquisa célula a célula. É gerado por ele o mapa de contorno na tela do computador, e é criado um arquivo de saída. Nesse arquivo, são registradas as coordenadas das isolinhas oriundas da interpolação da rede triangular.

A partir desse arquivo o programa ARQCAD.EXE, desenvolvido pelos docentes do departamento de cartografia da FCT/UNESP, cria um arquivo com a formatação adequada para que o AUTOCAD possa ler e gerar o mesmo desenho que aparece na tela. ( ARQ#.DXF ) A partir disso, basta ao usuário entrar no AUTOCAD e editar o seu mapa. Esse processamento todo é acionado pelo programa ISO.BAT.

A figura 44 mostra o menu de operação do programa ISOLINE.EXE, a figura 45 o fluxograma da implementação e as figuras 46 e 47 um mapa de contorno gerado na tela e editado pelo AUTOCAD.

ZMIN = _____	ZMAX = _____
QUAL O VALOR DE Z PARA A CURVA MINIMA ? _____	
QUAL A EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS ? _____	
QUAL O NOME DO ARQUIVO DE SAIDA ? _____	

FIG. 44 - MENU DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA ISOLINE.EXE

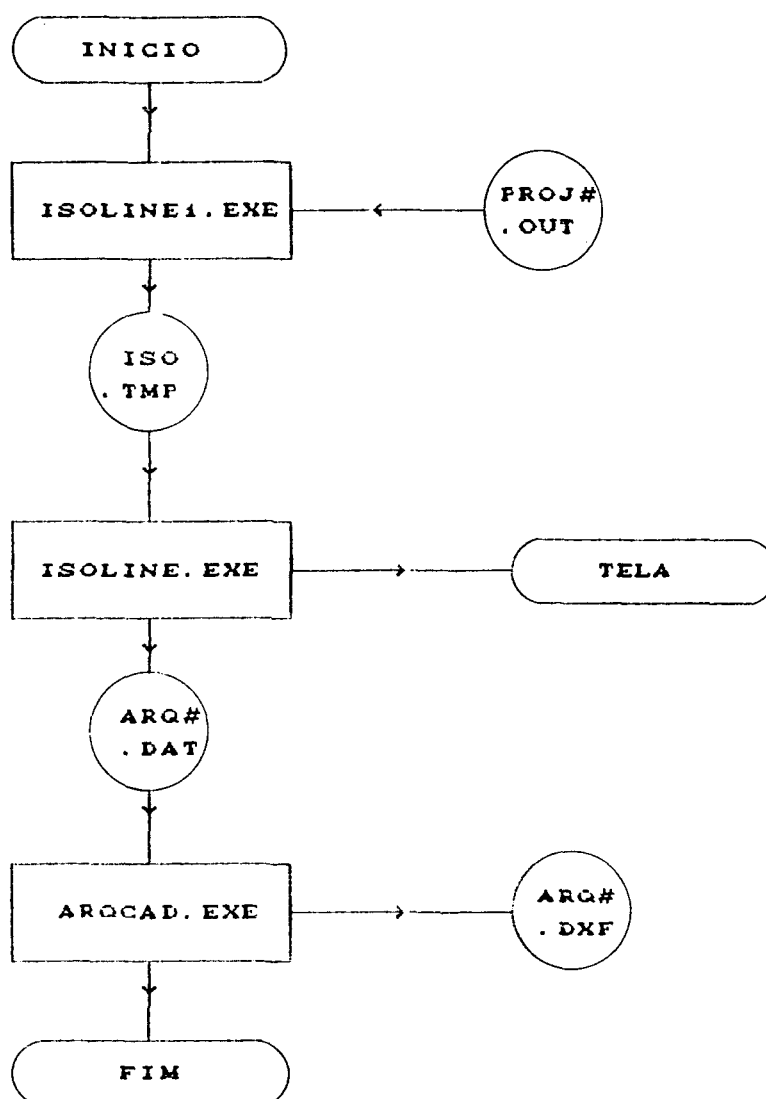
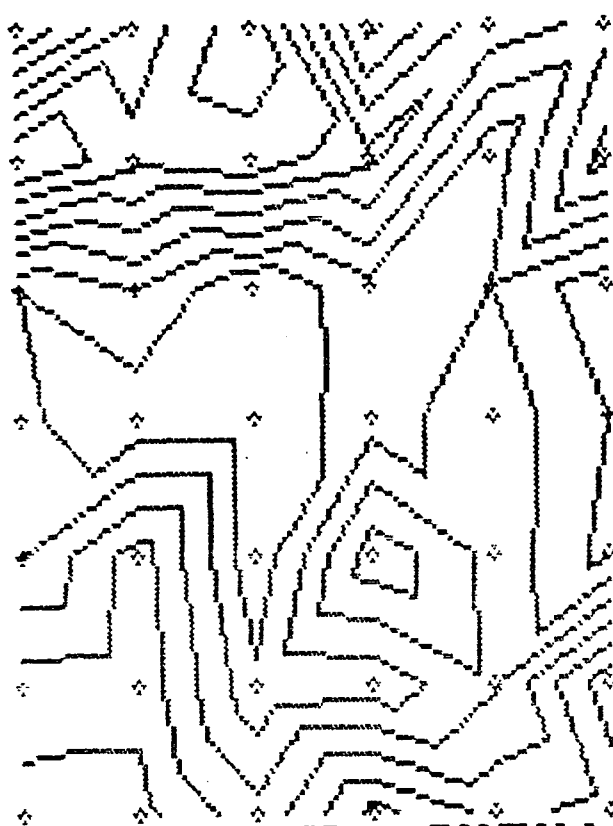


FIG. 45 - FLUXOGRAMA DA IMPLEMENTAÇÃO

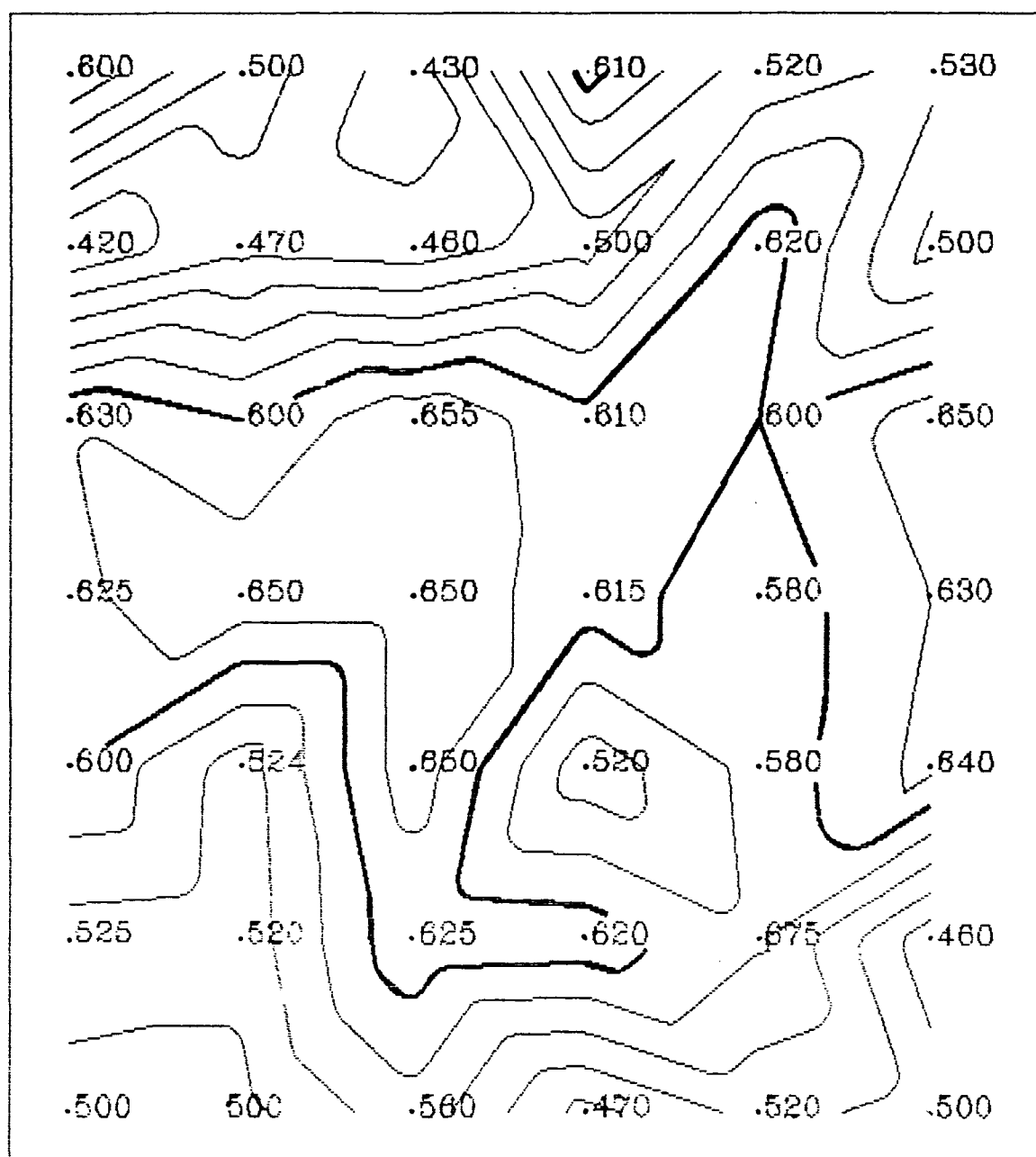
**Tecla ENTER p/ Terminar**



**MAPA DE CURVAS DE NIVEL**

**ESC.: 1 / 60851      EQUID. : 30 M**

FIG. 46 - MAPA GERADO PELA IMPLEMENTAÇÃO



## MAPA DE CURVAS DE NÍVEL

Esc. : 1/40.000      Equidistância : 30 m

**FIG. 47 - MAPA EDITADO PELO AUTOCAD.**

### 5.3 CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o SPDG, verificando suas potencialidades, gerar um guia para o usuário e fazer uma implementação.

No estudo do sistema constatou-se que :

- este não corrige as observações da deriva estática, o que implica em evitar-se paradas prolongadas durante o levantamento de circuitos gravimétricos ou a correção da deriva estática antes da introdução dos dados no programa ;
- este calcula a anomalia de Bouguer considerando apenas o efeito do platô de espessura  $h$  e área infinita e não o da calota esférica, ou seja, não calcula a anomalia Modificada de Bouguer;
- no ajustamento dos dados a resolução do sistema de equações normais pode ser feita de dois modos : resolução pelo método iterativo de Gauss-Seidel, ou a resolução direta por inversão matricial pelo algoritmo de Choleski.

A nível de implementação do sistema pensou-se em introduzir a correção da deriva estática e a mudança do cálculo da anomalia de Bouguer para o da Modificada de Bouguer, por ser esta mais adequada para as finalidades da gravimetria segundo PICK et alli<sup>12/</sup>. Com respeito a resolução do sistema de equações normais, na fase do ajustamento, pensou-se em substituir o método iterativo de Gauss-Seidel pelo método dos Gradientes Conjugados que é, sem dúvida, o método iterativo de melhor desempenho, embora pouco conhecido e utilizado ( ver NAZARENO<sup>10/</sup>). Quanto a resolução pelo

método direto, pensou-se em aplicar o método de Choleski na resolução do sistema de equações normais diretamente (sem inversão) e possibilitar ao usuário a escolha de alguns elementos amostrais para a obtenção das suas variâncias.

Todas essas implementações possíveis, algumas imediatas e outras que implicariam em mudanças estruturais no SPDG, não puderam ser colocadas em prática em virtude de não se ter a versão correta de compilador FORTRAN. Todavia, levando-se em conta as potencialidades já percorridas no capítulo quatro pode-se afirmar que trata-se de um programa otimizado que passa a ser, com a proliferação dos computadores portáteis de alto desempenho ("Lap-Top"), extremamente útil por possibilitar o processamento dos dados em campanha.

Uma vez que não se fariam modificações internas ao sistema, pensou-se em ampliar o quadro de opções. Essa ampliação consistiu em introduzir no sistema a capacidade de geração automática de curvas de contorno (curvas de isovalor). Por não ser objetivo do trabalho desenvolver um programa com essa finalidade, optou-se por adaptar os programas disponíveis. Desse modo utilizou-se o programa ISOLINE.EXE, desenvolvido pelo IPT em conjunto com a USP na linguagem BASIC, que apenas calcula os pontos de cota cheia e gera um mapa na tela do computador. Criou-se então um programa para ler o arquivo de saída do SPDG (PROJ#.OUT) e gerar um outro arquivo (ISO.TMP) compatível com o programa ISOLINE. Adaptou-se então esse programa de modo a gerar um arquivo de



saída com informações que possibilitam a geração do mesmo mapa pelo AUTOCAD, além de fornecer ao usuário a escala com que o mapa aparece na tela e a equidistância entre as curvas de isovalor. Pela incompatibilidade do modo gráfico e modo texto da linguagem BASIC não foi possível adaptar o ISOLINE para a colocação de informações textuais sobre o mapa de tela como seria conveniente. Não obstante, o mapa de tela pode ser encarado apenas como um esboço que possibilita uma primeira visão do comportamento das curvas de isovalor em correspondência aos pontos levantados em campo. Por outro lado, essas informações adicionais podem ser colocadas no mapa editado pelo AUTOCAD com relativa facilidade, conforme pode-se observar na figura 47 onde foram colocadas as cotas dos pontos utilizados para gerar o mapa de curvas de nível.

Com essa implementação acredita-se que o trabalho teve seus objetivos alcançados pois o sistema foi estudado a fundo, o capítulo quatro pode ser encarado como um manual do usuário e a geração automática de curvas de contorno veio a ampliar as potencialidades do SPDG, o que não seria tão evidente se as implementações iniciais pudessem ter sido feitas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ANDRADE, J. B., GEMAEL, C. a terra do geodesta moderno não é rígida. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS, 5., julho 1988. Presidente Prudente : IPEA/UNESP, 1988.
02. CINTRA, J. P. Modelagem digital de terreno : automação da topografia. São Paulo: USP, 1988.
03. GEMAEL, C. Ajustamento : variação de coordenadas. Curitiba : UFPR, 1976.
04. \_\_\_\_\_. Determinação da gravidade em geodésia. Curitiba : UFPR, 1985.
05. \_\_\_\_\_. Introdução ao ajustamento de observações : aplicações geodésicas. Curitiba : UFPR, 1984.
06. \_\_\_\_\_. Introdução a geodésia física. Curitiba : UFPR, 1981.
07. GEOPHYSICAL DATA CENTRE. User guide \_ : gravity data processing system - GRAVSYS. Canada : [ s.n. , s.d. ]. Paginação Irregular.
08. GRAVITY WORKSHOP NOTES. [ s.n.t. ] (Apostila).
09. MIKHAIL, E. M., ACKERMANN, F. Observation and least square. New York : IEP/ADUN/Donnelley, 1976. 497p.

10. NAZARENO, N. R. X. Resolução de sistemas de equações normais. Curitiba : UFPR, 1992. 27p. (Seminário apresentado no Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas)
11. NEVES, J. M. R. Sistema interativo para mapeamento. Rio de Janeiro : UFRJ, 1988. 143p. (Dissertação de mestrado)
12. PICK, M. et al. Theory of the earth's gravity field. Prague : Elsevier, 1973. 538p.
13. RESNICK, R. , HALLIDAY, D. Física. 3.ed. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1981. 293p.
14. VANICEK, P., KRAKIWSKY, E. Geodesy: the concepts. 2.ed. Amsterdam : North-Holland, 1986. 697p.
15. WANDRESEN , R. Métodos iterativos para solução de sistemas de equações normais. Curitiba : UFPR, 1980. 214p. (Dissertação de mestrado)
16. WOLUPECK, A. Cálculo numérico e aplicações. Curitiba : CEFET/PR, 1988.
17. YAMAMOTO, J. K. Representações gráficas espaciais em geociências. In: SIMPÓSIO DE QUANTIFICAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS, 2., Rio Claro, Agosto 1986. Rio Claro: IGCE/UNESP, 1986.